

Univerzita Karlova
Pedagogická fakulta
Katedra informačních technologií a technické výchovy

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Problematika digitalizace obrazu

Image Digitization Issues

David Ježek

Vedoucí práce: PhDr. Tomáš Jeřábek, Ph.D.

Studijní program: Specializace v pedagogice

Studijní obor: Informační technologie se zaměřením na vzdělávání

Odevzdáním této bakalářské práce na téma Problematika digitalizace obrazu potvrzuji, že jsem ji vypracoval pod vedením vedoucího práce samostatně za použití v práci uvedených pramenů a literatury. Dále potvrzuji, že tato práce nebyla využita k získání jiného nebo stejného titulu.

Poděbrady 13. 7. 2018

Rád bych na tomto místě poděkoval vedoucímu práce, PhDr. Tomáši Jeřábkoví, Ph.D., za cenné rady, pomoc a zejména velkou trpělivost při vedení mé bakalářské práce.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou digitalizace obrazu, přináší přehled problematiky analogových médií a jejich převodu do digitální podoby. Obsahuje teoretický aparát související s digitalizací, přehled technického vybavení, ukázkové postupy digitalizace a úprav obrazových předloh a přehled technologií a doporučení pro archivaci digitálních dat.

KLÍČOVÁ SLOVA

digitalizace, obraz, skener, film, archivace

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with issues of picture digitization, indicates survey of specifics and problems of analog media and their transfer to digital form. Comprises theoretical outline related to digitization, overview of technical equipage and technologies, recommendation for archiving of digital data. States exemplary processes of digitization and adjustments of various pictorial models and corrections of their defects.

KEYWORDS

digitization, picture, scanner, film, archiving

Obsah

Úvod	7
1 Teoretická východiska	8
1.1 Současný stav	8
1.2 Degradace filmového materiálu	12
1.2.1 Normy ISO pro archivaci filmových materiálů a papírových fotografií	15
1.3 Dělení analogových předloh	17
1.4 Proces digitalizace	18
1.4.1 Proces vzorkování	18
1.4.2 Proces kvantování	18
1.4.3 Chyby plynoucí z nízké přesnosti digitalizace	19
1.4.4 Převod signálu z analogové do digitální podoby	20
1.4.5 Digitalizace filmového materiálu	26
1.4.6 Digitalizace papírových předloh	27
1.4.7 Digitalizace magnetických pásků	28
1.5 Výhody digitalizace analogových záznamů	32
1.6 Technické vybavení	33
1.6.1 Dostupnost v současnosti	33
1.6.2 Typy skenerů pro průsvitné i reflexní předlohy	34
1.6.3 Vybavení pro digitalizaci záznamů na magnetických páskách	42
1.6.4 Softwarové vybavení	45
1.7 Uložení a archivace skenů a exportů	47
1.7.1 Grafické formáty	47
1.7.2 Video formáty a rozlišení	48
1.7.3 Záloha a archivace dat	50

2	Návrh doporučených postupů digitalizace fotografického materiálu.....	56
2.1	Přípravná fáze	56
2.2	Proces skenování.....	57
2.2.1	Rozlišení skenu, barevná hloubka, formát uložení.....	57
2.2.2	Histogram a nastavení bílé a černé	58
2.2.3	Vyvážení bílé (barevný film).....	60
2.2.4	Ořez skenovaného políčka.....	61
2.3	Ukázkové příklady skenu filmu	61
2.3.1	Dobře exponovaný černobílý negativ	62
2.3.2	Silně podexponovaný černobílý negativ.....	63
2.3.3	Neznámý degradující diapozitiv	65
2.4	Ukázkové příklady skenu papírových fotografií	67
2.4.1	Kolorizace kontaktní kopie svitkového filmu	68
2.4.2	Expozičně velmi nekvalitní kontaktní kopie svitkového filmu	69
2.4.3	Vybledlá barevná fotografie	71
2.4.4	Fotografie s barevným posuvem na papíru Agfa.....	72
	Závěr.....	75
	Seznam použitých informačních zdrojů	77

Úvod

Když se naplno rozbíhala současná éra masového přechodu na digitální média, jen někteří vizionáři si dokázali představit, jak během poměrně krátké doby zruší staré pořádky a změní svět filmu, fotografie, televize či hudby. Tento přechod na digitální produkci a záznam zasáhl fotografii a film již před více než dvaceti lety a zcela změnil prakticky všechny oblasti, od obřích produkcí natáčejících největší Hollywoodské velko filmy až po každodenní pořizování rodinných fotografií i nejobyčejnějších momentek.

Zatímco digitální záznamové technologie se každým rokem zlepšují, vývoj a zejména výroba analogových záznamových technologií upadá.

Tato práce si klade za cíl představit ucelený přehled problematiky digitalizace v oblasti obrazových médií s důrazem na statickou fotografii, vysvětlit potřebný teoretický aparát pro porozumění jednotlivým postupům a tyto postupy demonstrovat na ukázkových fotografiích. Poskytuje teoretické znalosti v této oblasti potřebné pro archivaci a digitalizaci analogových materiálů za pomoci běžně dostupných prostředků, jejich částečných oprav, s vědomím limitů jednotlivých kroků a technických zařízení v nich využívaných.

Práce se též zabývá problematikou úprav digitálního obrazu, které slouží ke kompenzaci vad (například korekce expozice, vyvážení barev), představuje též možnosti dodatečných úprav snímků (automatizované kolorizace starých černobílých fotografií).

V první části se práce věnuje současným poznatkům o problémech analogových předloh, zejména s ohledem na postupnou degradaci materiálu. Dále jejich rozdělení dle různých hledisek. Probírá se proces digitalizace analogového obrazového signálu, specifika digitalizace filmových materiálů a magnetických pásek a též výhody plynoucí ze samotné digitalizace. Popsáno je potřebné technické vybavení, softwarové prostředky a možnosti archivace digitalizovaných dat.

Druhá část je věnována samotnému procesu digitalizace, jeho přípravy a procesu skenování filmových předloh. Postupy jsou ilustrovány na několika ukázkových příkladech digitalizace obrazových předloh.

1 Teoretická východiska

Digitalizace jako proces vychází z technologických změn dvou posledních desetiletí v oblasti pořizování záznamů a s tím související potřeby na nové typy uložení dat převést i díla z doby analogové.

1.1 Současný stav

Nejvíce je přechod k digitálním médiím vidět na fotografii, kde o tom vypovídají i statistiky největších světových foto služeb jako Flickr. Ubývá fotografií pořizovaných analogovými přístroji a světu stále více vládne digitální technika, přičemž v posledních letech neustále roste podíl fotografií pořízených na obsluhu jednoduchými přístroji typu smartphone a tablet.



Obrázek 1: Statistika nahraných fotografií na web Flickr za rok 2017.

Zdroj: <https://blog.flickr.net/en/2017/12/07/top-devices-of-2017/>

Na druhou stranu se ale díky více než 100 letům fotografování na filmové materiály nachází v domácnostech i firmách a institucích obrovské množství fotografického materiálu,

který často neprošel z hlediska zpracování do podoby výsledných fotografií technickým vybavením mladším 20 let. Digitalizace těchto materiálů, tedy jejich převod do digitální podoby tak často ještě ani neproběhl. Kupříkladu řada filmů vydaných na DVD byla digitalizována v 90. letech nikoli z původního filmového materiálu, ale z pásků typu Betacam vytvořených v 80. letech pro TV vysílání.

Oblast digitalizace analogových záznamů trpí už zhruba 10 let úpadkem zájmu, a tedy i poklesem dostupnosti potřebného technického vybavení. Pro fotografy je na trhu podstatně méně běžně dostupných skenerů, téměř vymizely bubnové skenery a speciální filmové skenery většiny výrobců a nabídka stolních skenerů s podporou průsvitných předloh je omezená a technologicky se už 10 let víceméně nevylepší. Pořízení nového speciálního skeneru pro filmové materiály je nákladné, v běžném prodeji jsou dostupné pouze skenery značky Plustek, které po technické stránce nejsou lepší než přístroje dostupné před 10 lety a zájemci o kvalitní zařízení z doby minulé se tak častěji obracejí na sekundární trh, kde ceny filmových skenerů společností Canon, Nikon či Minolta anebo starých bubnových skenerů často dosahují hodnot, za které se prodávaly v době, kdy byly nové. Prakticky jediná oblast zařízení použitelných pro digitalizaci filmových materiálů, která se stále rozvíjí plnou rychlostí, tak jsou paradoxně digitální fotoaparáty.

Nabídka trhu je značně menší i když se na ni podíváme optikou dostupnosti filmových materiálů, jejichž nabídka už 10 let klesá co do objemu i různorodosti.

Kodak, tradiční americký výrobce, jenž je spjat jak s filmovými materiály, tak rozvojem digitální fotografie, před několika lety zkrachoval a následně byly části firmy zachráněny různými subjekty. Na trhu tak lze nalézt digitální kompaktní fotoaparáty s logem Kodak, které jsou fakticky jen OEM produkcí z Číny, renesanci ale zažívá divize výroby filmových materiálů.

Po krizi kolem roku 2014, kdy i významní hollywoodští režiséři volali po větších objednávkách filmu ze strany hollywoodských studií, aby tato výroba neskončila zcela (Ježek, 2004), se situace obrátila a Kodak každým rokem dodává více filmového materiálu. Na trh se tak v tomto roce vrátil po několik let nevyráběný černobílý negativ T-Max P3200 a firma nyní obnovuje též výrobu inverzního barevného filmu Ektachrome a drží se i klíčová

výroba a také částečně vývoj materiálů pro filmaře, k němuž však od roku 2007 již nevyužívá firemní zařízení s obohaceným uranem (Orr, 2014).

Konkurenční japonský výrobce Fujifilm postupně v posledních letech utlumuje a ukončuje výrobu většiny filmových materiálů, a to jak barevných a černobílých negativů, tak inverzních filmů pro proces E-6. Už před lety byla ukončena výroba špičkového černobílého negativu Neopan 1600, skončila též výroba barevného negativu Superia 1600 a většiny typů inverzních filmů Provia a Velvia. Stávající zásoby doprodávají prodejci i za několikanásobně vyšší ceny.

Anglický Ilford po těžkých letech nyní roste na vlně znovuoobnoveného zájmu o focení na film. Jeho nabídka černobílých negativů zahrnuje materiály s udávanou citlivostí od ISO 50 po ISO 3200 a dokonce nyní každý rok nabízí i zákaznické porcování fotografických materiálů až do rozměru 20×24" (Harman Technology, 2017).

Italská společnost Ferrania byla v roce 2016 znovuoživena několika bývalými zaměstnanci, kteří v crowdfundingové kampani vybrali dostatečnou částku pro odkoupení původní výrobní továrny (Film Ferrania, 2014) a nyní připravují uvedení vybraných filmových materiálů zpět na trh (Film Ferrania, 2017).

Český výrobce Foma Bohemia přežil nástup digitalizace, byť také s nižšími objemy výroby. Podařilo se mu nejen zachovat výrobu hlavních materiálů Fomapan 100, 200, 400 a inverzního R100 (ukončena je výroba barevných negativů a černobílého filmu s citlivostí 800), ale dokonce v roce 2015 uvést na trh nový černobílý negativ Retropan 320 a pro něj určenou vývojku Retro.

Pod značkou ADOX je k dispozici nabídka několika klasických přejmenovaných materiálů, ale také nové speciální filmy jako ultra-jemnozrnný film CMS 20 II (podrobněji v kapitole Rozlišení skenu, barevná hloubka, formát uložení) a materiál Silvermax s velmi vysokým obsahem stříbra a také legendární vývojka Rodinal, vyráběná už 127 let.

V nabídce trhu jsou mnozí další menší výrobci zejména se speciálními produkty, není v možnostech této práce vyjmenovávat všechny. Nicméně i tito jsou důkazem, že i menší objemy výroby prodávané za vysoké ceny si dnes dokáží najít zákazníka, ať již

jde o lomografické filmy, nebo speciální filmy Washi, které mají jako podložku rýžový papír apod.

V oblasti amatérského analogového videa již došlo k ukončení výroby VHS rekordérů. Jako poslední ukončila výrobu přístrojů tohoto typu v létě roku 2016 společnost Funai (Bromwich, 2016), ještě déle nejsou na trhu (polo)profesionální přístroje podporující i formát S-VHS či jeho variantu S-VHS ET. Většina analogových systémů záznamu videa kromě VHS/S-VHS a Video8/Hi8, je dnes spíše raritou, je to však dáno tím, že svůj boj o zákazníka prohrály ještě v analogové éře (za všechny uvedme LaserDisc).

I z hlediska klesající dostupnosti zařízení pro přehrávání analogových záznamů má smysl zabývat se digitalizací analogových materiálů včas, dokud lze – byť často už jen z druhé ruky – zakoupit potřebné funkční vybavení pro digitalizaci. Hlavním důvodem je postupná degradace analogových materiálů, ať již filmových políček nebo magnetických pásek.

Nutno jedním dechem dodat, že digitalizace je sama o sobě dvousečná zbraň. Například Ladislav Bezděk z Národního památkového ústavu sice za zcela zásadní přínos digitalizace považuje osvobození obrazové informace od její materiálové podstaty, na níž byla dříve závislá, vzápětí ale dodává, že „*trvanlivost dosud známých médií, užívaných k zápisu digitálních dat, se nám oprávněně jeví jako krajně nejistá*“ (Bezděk, 2016, s. 107).

V kontrastu s tím je naopak na vzestupu kvalita softwarových nástrojů. V průběhu let se vedle zavedených komerčních produktů (za všechny jmenujme například Adobe Photoshop) objevily mnohé bezplatné programy, které ve většině úloh v domácím použití představují nástroje srovnatelné s drahými komerčními programy. Dokonce lze říci, že s postupujícím přechodem komerčních firem na model předplatného (například Adobe Creative Cloud) a přesunu programů pod něj hrají bezplatné či open-source nástroje důležitější roli.

V neposlední řadě je nutno též zmínit nástroje, které nebyly a nejsou primárně zamýšleny pro použití v procesu digitalizace analogových materiálů, ale mohou zde být s úspěchem použity. Jde o fenomén „výpočetní fotografie“, tedy kompenzace technických nedostatků výpočetní silou a sofistikovanými algoritmy. Jako příklad můžeme jmenovat snahy společnosti Google, která i pro zpracování fotografií ve svých smartphonech Pixel používá

algoritmy neuronových sítí (Vincent, 2018), jejichž výsledky jsou s každou další generací produktů lepší a postupně se dostávají i do dalších přístrojů.

Volně dostupné k užití jsou též výsledky některých vědeckých projektů, například systém automatické kolorizace fotografií za pomoci neuronové sítě vyvinuté v roce 2016 týmem vědců z několika univerzit (Zhang, Isola, Efros, 2016) a nadále vyvíjené či speciální AI koprocesory v čípech řídících dnešní smartphony či sestavování výsledných fotografií z většího množství malých čipů, reprezentované například fotoaparátem Light L16 (Lee, 2017).

Optikou současné doby, kdy je používání filmových materiálů jak v amatérské praxi i profesionály z řad filmového průmyslu a jiných oblastí na ústupu, má digitalizace filmových („analogových“) materiálů dva hlavní důvody: zabránění ztrátě informací (díla) kvůli postupné nevratné degradaci filmového materiálu v důsledku chemických procesů a zpřístupnění díla současnému divákovi, který již obvykle nemá přístup k potřebnému analogovému vybavení.

1.2 Degradace filmového materiálu

Z důvodů degradace filmového materiálu je potřeba vytváření technologicky odlišné zálohy, resp. jiné formy archivace ve srovnání s pásem filmového negativu. V tomto ohledu je nejdále filmový průmysl, o kterém můžeme říci, že přes všechny finanční a technologické možnosti stojí archivace originálních filmových negativů či master pozitivů na dobře vyvolaném a zejména ustáleném filmu skladovaném za optimálních teplot a zejména co nejnižší vlhkosti a pokud možno bez přístupu běžného vzduchu. Proto má řada filmových studií zajištěny skladovací prostory v hlubinách bývalých solných dolů v Kansasu (McLaughlin, 2000), ale ani tak se nedokáže filmový průmysl ubránit degradaci zejména starších filmových pásů, které dnes dosahují desítek let, u řady děl pak i více než 100 let a které nebyly v prvních letech až desetiletích své existence uskladněny v suchém chladném prostředí solného dolu. Pro novější filmové emulze při kvalitním uskladnění od prvních momentů je udávána životnost i 150 až 200 let (McLaughlin, 2000).

Technologicky odlišná, digitální záloha filmových pásů je potřeba zejména proto, že filmový materiál dříve či později začne postupně degradovat. V tomto ohledu jsou rozlišovány dva významné typy filmových materiálů podléhajících zkáze (Batistová, 2007).

Historicky starším je nitrocelulózový film (celuloid)¹, vysoce hořlavý materiál, který nesměl být ani převážen mezi kinosály v prostředcích hromadné dopravy a který podléhal často velmi rychlé destrukci uloženého záznamu v důsledku chemických procesů. Pro nitrocelulózovou podložku v dobrém stavu je udávána hořlavost od teploty 160 °C, v pokročilém stádiu rozkladu dochází ke vznícení již při teplotě 40 °C (Batistová, 2007, s. 11). S ohledem na vyšší teploty vznikající při projekci filmu promítacím přístrojem tak docházelo ke vznícení a hoření filmu během projekce.

Na celuloidový film si natáčelo zejména v obdobích do 2. světové války, udává se, že kvůli nestálosti tohoto materiálu je dnes ztraceno až 90 % němých filmů (Bennett, 2018), jiné zdroje uvádějí ztrátu v rozsahu 75 % (Harris, 2013) až 85 % (Batistová, 2007), řada z nich existuje dodnes díky jen tomu, že před rokem 1911 v USA ani nebyla potřebná legislativa týkající se copyrightu na filmová díla. Proto Hollywoodská studia od 90. let 19. století zasílala Kongresové knihovně na archivaci kopie filmů na papírových pásech, neboť na tento typ díla se copyright – stejně jako třeba na knihy – vztahoval (McLaughlin, 2000).

¹ Nitrocelulózový film – používal podložku na bázi nitrátu celulózy (celuloidu).

Později společnosti jako Kodak přišly s filmovými materiály na bázi acetátu celulózy (tzv. „Safety Film“²). Tento materiál podložky, nejprve typu diacetát, později triacetát, eliminoval všudypřítomné riziko požáru celuloidu. Avšak po desítkách let jeho používání v Hollywoodu (a jinde) se ukázalo, že ani triacetátový film a nové barevné emulze nejsou stabilní a obraz na nich postupně degraduje (Messier, 1997).



Obrázek 2: Projekce částečně degradovaného 70mm materiálu (Krnov 2011)

U barevného filmu je postupná degradace horší v tom, že jednotlivé barevné vrstvy degradují různou rychlostí, takže starší filmové kopie typicky trpí barevným posuvem. Pro 16mm, 35mm i 70 mm kinematografický pozitiv zejména společnosti Kodak doby 50. až 80. let 20. století je typický barevný posuv k červené/purpurové barvě (Geoff, 2001).

Degradace triacetátových filmů s novými emulzemi zhruba od konce 50. let je zřejmá ve všech oblastech užití, od Hollywoodských studií až k dnešním barevným negativům používaným běžně v amatérské fotografii je rozpoznatelná čichem: film má octový zápach a postupně se krouť a zvlňuje. Projev se vžil termín „vinegar syndrome“³ (Gilman, Price, Garcia-Putnam, 2014).

² Například materiál Eastman Color společnosti Kodak.

³ Vinegar syndrome, česky octový syndrom – jev degradace podložky filmového pásu vznikající v důsledku principu výroby acetátu celulózy, reakcí celulózy s kyselinou octovou.



Obrázek 3: Projekce zcela degradovaného materiálu Kodak (Krnov 2011)

Z barevných materiálů netrpěly „octovým syndromem“ materiály točené starším barevným procesem Technicolor, neb tento barevný proces využívá separaci barevných kanálů a jejich uložení na černobílé negativy. Technicolor filmy používaly zpočátku celuloidovou podložku, která stála za jejich degradací. Pozdější filmy používající Technicolor proces a acetátovou podložku jsou velmi stabilní (nedegraduje ani podložka, ani barevné separace uložené na tři pásy černobílého filmu) a tato varianta Technicolor je považována za nejstabilnější barevný proces (Geoff, 2001).

1.2.1 Normy ISO pro archivaci filmových materiálů a papírových fotografií

Tomáš Štanzel, kurátor sbírek foto-kino Národního technického muzea uvádí doporučení pro přechodné uložení i dlouhodobou archivaci (až staletí) dle norem ISO 18911⁴, ISO 18918⁵, ISO 18920⁶ a speciálně pro materiály na nebezpečné nitrocelulózové podložce ISO 10356⁷ (Bezděk et al., 2016). Zahrnuje zde doporučené hodnoty teplot a vlhkosti pro jednotlivé typy materiálů průsvitných (negativy a diapozitivy) i reflexních (fotografie na papíru aj.)⁸.

⁴ Dostupné online: <https://www.iso.org/standard/46602.html>

⁵ Dostupné online: <https://www.iso.org/standard/31115.html>

⁶ Dostupné online: <https://www.iso.org/standard/46186.html>

⁷ Dostupné online: <https://www.iso.org/standard/18413.html>

⁸ Vedle norem ISO například existují obdobné americké normy ANSI (American National Standards Institute) zabývající se uskladněním a archivací fotografických materiálů.

Dále dodává obecné doporučení pro skladování barevných negativů i pozitivů. Ty mohou za běžných pokojových teplot měnit barvy již během 20 až 30 let, pročež doporučuje skladování v chlazeném prostředí – čím nižší teplota, tím lépe. Ideálně pod bodem mrazu. K rozpoznání počátků degradace barevného materiálu dodává, že nejčastěji je z filmu cítit zápach po kyselině octové. Materiály by měly být uchovávány ve tmě, se zamezením prašnosti a vlhkosti, kde se nepracuje s rozpouštědly a jinými těkavými látkami.

Pro skladování doporučuje kovové skříně, v případě dřevěných je nutno zvážit jeho stáří, neboť z novějšího nábytku se uvolňují výpary, které fotografický materiál poškozují. Za zvláště kritické Štanzel označuje lepené dřevotřísky a v případě nejistoty doporučuje dveře skříní nezavírat.

Při vyjímání materiálů z chladného úložiště doporučuje dbát na to, aby materiál nebyl vystaven prudké změně teplot, nechat jej alespoň půl dne aklimatizovat. Obzvláště důležité je dodržet pravidla při vyjímání materiálu zmrazeného, který musí být aklimatizován pozvolna a se zamezením vniknutí vlhkosti. Pokud by byl umístěn do tepla bez izolace vůči vniknutí vlhka, na zmrazeném materiálu by kondenzovaly vodní páry a znehodnotily jej (Bězděk et al., 2016).

Typ uložení	Při pokojové teplotě	V chladném prostředí	Ve velmi chladném prostředí	Při teplotě pod bodem mrazu
Doporučená teplota a relativní vlhkost pro tento typ uložení	16-23 °C 30-50 % RH	8-16 °C 30-50 % RH	0-8 °C 30-50 % RH	-20-0 °C 30-50 % RH
Skleněné desky	Dostatečné	Dobré	Velmi dobré	Velmi dobré
Filmy na nitrocelulózové podložce	Nedostatečné	Nedostatečné	Dobré	Velmi dobré
Filmy na acetylcelulózové podložce černobílé	Nedostatečné	Nedostatečné	Dobré	Velmi dobré
Filmy na acetylcelulózové podložce barevné	Nedostatečné	Nedostatečné	Dobré	Velmi dobré

Filmy na polyesterové podložce černobílé	Dobré	Dobré	Velmi dobré	Velmi dobré
Filmy na polyesterové podložce barevné	Nedostatečné	Nedostatečné	Dobré	Velmi dobré
Fotografie černobílé	Dobré	Dobré	Velmi dobré	Velmi dobré
Fotografie barevné	Nedostatečné	Nedostatečné	Dobré	Velmi dobré

Pro různé typy materiálů doporučuje Štanzel různé metody zásahu, případně zastavení další degradace. Pro barevné negativy zasažené octovým syndromem ale platí jednoznačné doporučení: okamžitě izolovat od ostatních materiálů.

1.3 Dělení analogových předloh

Vzhledem ke značné odlišnosti zdrojových materiálů a předloh, které lze digitalizovat, je nutné si nejprve digitalizované zdroje rozdělit. Například organizace Digital Transitions Division of Cultural Heritage pro potřeby své a svých zákazníků rozděluje digitalizované předlohy podle tří kritérií (Ainsworth, Badach, Baker et al., 2015, s. 18).

Hlavním kritériem dělení, od kterého se odvíjí použitý technický postup digitalizace, je dělení podle typu.

1. díla na papíře: zahrnuje kresby, náčrty, malby, deníky, poznámky, novinové výstřižky, knihy, mapy, technické plány (blueprinty), plakáty
2. práce na jiných nosičích: rytiny, leptané předlohy, multimédia
3. odrazivé fotomechanické předlohy: fotografie, kyanotypie, ferrotypie, kalotypie, moontypie
4. průsvitné fotomechanické předlohy: okénka pro laternu magicu, rentgenové snímky, kyanotypie, skleněné desky
5. prostory: instalace, architektura, scény
6. 3D předměty: soškultury, fosilie, materiálová kultura
7. organické: lidé, biologické vzorky

Rozdělení podle velikosti pro potřeby této práce bude omezeno na rozsah od kinofilmového políčka (36×24 mm) po formát papírové předlohy A4.

1. makro: vše menší než A8, zahrnuje 35mm film, mikrofilm, známky, mince
2. normální: větší než A8, menší než A3
3. nadměrné: větší než A3

Rozdělení podle stavu je důležité z hlediska nakládání s předlohou: například 500 let starému unikátnímu tisku s nevyčíslitelnou historickou či kulturní hodnotou se při digitalizaci dostane daleko vyšší péče a opatrnosti než rodinné papírové fotografii formátu 9×13 cm, jedné z tisíce, které byly na dovolené před 30 lety pořízeny.

1. vazba: volná (nevázaná), T vazba, vázané, sešité
2. stabilita: stabilní, rychle se zhoršující
3. riziko manipulace: robustní, křehké, velmi křehké, spotřební
4. nebezpečnost: plísně, arsen, olovo, radioaktivita

1.4 Proces digitalizace

Digitalizace je proces převodu spojité funkce na diskrétní funkci. V kontextu této práce jde o proces převádějící analogový obrazový signál na digitální. Obecně digitalizace stojí na dvou procesech: vzorkování a kvantování (Reichl, Všetička, 2006).

1.4.1 Proces vzorkování

Vzorkování (někdy též samplování) je procesem získávání hodnot analogového signálu ve stanoveném intervalu.

U obrazového záznamu je vzorkování dáno rozlišením, do kterého obraz ukládáme (počet obrazových bodů).

V případě digitalizace video záznamu budeme vzorkování v prostorové oblasti (rozlišení záznamu) i časové oblasti (počet snímků, resp. půlsnímků obrazu za sekundu) současně chápat jako předem určené typem záznamu na pásce. Tedy například pro TV záznam v normě PAL můžeme uvažovat vzorkování v rozlišení 720×576 rychlostí 25 snímků za sekundu progresivně, resp. 50 půlsnímků za sekundu.

1.4.2 Proces kvantování

Kvantování je proces převodu získané analogové hodnoty do použitého digitálního formátu, resp. systému hodnot. Opět například při skenu černobílého filmového pásu můžeme

uvažovat převod naměřené hodnoty jasu dané části filmového políčka (budoucího bodu digitálního obrazu) do diskrétního systému kvantizačních úrovní použitého formátu dat.

Například při kvantování s 1bit přesností může digitalizovaný signál být uložen pouze jako 0, nebo 1 (2 hodnoty). Při 8bit přesnosti je počet možných hodnot 256 (0 až 255), při 16bit přesnosti jde o 65 536 hodnot (0 až 65535).

1.4.3 Chyby plynoucí z nízké přesnosti digitalizace

Z výše popsaných důvodů a z nich plynoucí skutečnosti, že digitální záznam je vždy omezen stanovenou přesností uložení dat, plynou rizika pro kvalitu digitalizovaného, kterým se sice nelze vyhnout zcela, ale je možné riziko jejich vzniku omezit.

Jednou třídou problémů jsou jevy posterizace (Reichl, Všeticka, 2006) a banding (Protopopov, 2018). Vznikají na jemných přechodech (například obloha na fotografii) v důsledku nízké přesnosti digitálního záznamu a také Machova efektu⁹ (Pelikán, 2015, s. 10).

Další vadou je kvantizační chyba. Ta je v úzkém vztahu s přesností kvantizace: čím větší přesnost, tím menší kvantizační chyba. Například pokud by při 8bitové přesnosti kvantování byla skenem zjištěna (velice nízká) hodnota jasu daného bodu obrazu v analogově-digitálním převodu spadající mezi hodnoty 0 a 1 z 256 možných, musí být zvolena jedna z těchto hodnot. Pokud by místo toho byla použita 10bitová přesnost, v takovém případě máme pro rozsah jasu k dispozici škálu hodnot 0 až 1 023, tedy čtyřikrát jemnější škálu. Pro daný obrazový bod tak původnímu 8bit rozsahu 0-1 z 256 hodnot odpovídá 0-4 z 1024 hodnot a bude například určeno, že daný bod nabývá hodnotu 2.

Třetím typem chyby je důsledek nízkého vzorkování signálu, vznik tzv. aliasu. V kontextu plošné předlohy (filmové políčko, list papíru) tedy zubatosti hran nebo efektu moaré.

⁹ Machův efekt – způsoben laterální inhibicí fotoreceptorů (sousedních neuronů) na sítnici oka, kdy aktivovaná buňka potlačuje citlivost sousedních buněk



Obrázek 4: Moaré vlevo na fotografii s nedostatečným vzorkováním (rozlišením). Zdroj:

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Shirt_with_moir%C3%A9_caused_by_aliasing.jpg (licence public domain)

Jak kvantizační chybu a její důsledky, tak vliv Machova efektu a aliasing lze do značné míry zmenšit za hranici rozpoznatelnosti člověkem použitím vyšší přesnosti kvantování nebo vyšší frekvence vzorkování. Platí zde plně Shannonův teorém¹⁰.

1.4.4 Převod signálu z analogové do digitální podoby

Po technické stránce probíhá digitalizace obrazových dat v několika krocích.

Fotoelektrický jev

Proces digitalizace filmového políčka začíná se zařízením, které dokáže převést optický signál na elektrický. Ať již jde o skener či například digitální fotoaparát, v obou případech pracuje na principu fotoelektrického jevu¹¹.

Princip spočívá v tom, že fotony dopadající na fotocitlivou buňku snímáče vyvolávají (excitují) zde obsažené elektrony na vyšší energetické hladiny (Reichl, Všeticka, 2006). Dle množství světla, které do buňky dopadne, je excitováno určité množství elektronů, tedy generována odpovídající hodnota elektrického náboje, kterou lze přeměnit a následně dále zpracovávat.

Čím větší je fotocitlivá buňka snímáče, tím více fotonů za danou dobu expozice do ní může „dopadnout“ a tím více elektronů může být excitováno. Tím pádem může větší fotobuňka

¹⁰ „Přesná rekonstrukce spojitého, frekvenčně omezeného signálu z jeho vzorků je možná tehdy, pokud byla vzorkovací frekvence vyšší než dvojnásobek nejvyšší harmonické složky vzorkovaného signálu.“, zdroj: https://cs.wikipedia.org/wiki/Shannon%C5%AFv_teor%C3%A9m

¹¹ Popsán 1905 Albertem Einsteinem, který za něj (a další objevy ve fyzice) získal v roce 1921 Nobelovu cenu za fyziku.

dosahovat vyššího jasového rozsahu (vyššího počtu excitovaných elektronů) mezi hodnotou 0 elektronů a maximálním množstvím elektronů.

Z tohoto plyne pro snímací část digitalizačního zařízení jedno základní pravidlo, které lze vyložit dvěma způsoby:

1. čím více fotocitlivých buněk nese snímač dané velikosti, tím menší expoziční rozsah je schopen pojmout.
2. čím větší rozměry má snímač o daném počtu fotocitlivých buněk, tím větší expoziční rozsah je schopen přenést do digitální podoby.

Analogově-digitální převod

Výstupem přímo z fotocitlivých buněk „digitálního“ snímače je tedy de facto analogová hodnota elektrického napětí, která je poté zesílena na hodnotu vhodnou pro převod z analogové na digitální za pomoci A/D převodníku.

Pokud bychom se na fotografický snímač podívali jako na nerozebiratelný výrobek, pak se navenek jeví digitálním, neb už řadu let většina výrobců integruje A/D převodník přímo do snímače. Touto cestou se zkracuje dráha analogového signálu (elektrického napětí) odečteného ze světlocitlivé buňky do A/D převodníku a klesá tím riziko zanesení tohoto signálu dalším rušením.

Analogově-digitální převod ve fotografickém snímači se obvykle odehrává ve vyšší bitové hloubce než běžně používaných 8bit pro zobrazení. Digitální fotoaparáty dnes u výstupního RAW formátu nabízejí bitové hloubky typicky 12bit na jednu barevnou složku (tedy 36bit RGB) u základních modelů, 14bit (42bit RGB) u vyšších středních až nejvyšších modelů typu „full-frame“ a 16bit (48bit RGB) u profesionálních středoformátových přístrojů

To znamená, že základní 12bit modely zrcadlovek či bezzrcadlovek jsou schopné pro daný obrazový bod (fotocitlivou buňku snímače) uložit hodnotu jasu ze 4 096 možných hodnot. Vyšší modely a 14bitovou přesností ukládají hodnotu z 16 384 možných. Nejdražší přístroje s 16bitovou přesností ukládají hodnotu z 65 536 možných.

Pro srovnání: levné kompaktní přístroje či smartphony pořizující fotografie přímo do formátu JPEG (bez dostupnosti RAW formátu) ukládají jednotlivé RGB složky s 8bitovou přesností, tedy v rozsahu 256 hodnot. To znamená, že tam, kde pro 8bit (24bit)

JPEG už představuje maximální hodnota 255 jen bílou barvu, může 16bit (48bit) přístroj rozlišit ještě 255 dílčích hodnot (ty pro 8bit přesnost představují už jen 255, přesněji řečeno hodnotu „nad 254“).

Přesnost A/D převodu tak představuje klíčový kvalitativní aspekt v digitalizaci.

Získání barevné informace

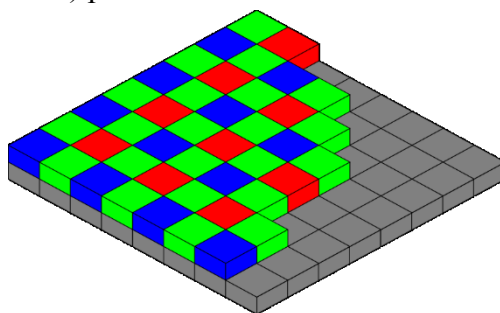
Všechny fotocitlivé snímáče mají společné to, že de facto svými fotocitlivými buňkami pouze převádí dopadající fotony na excitované elektrony. Jinak řečeno snímají pouze hodnotu jasu dané části obrazu. Jsou tedy „barvoslepe“. Technických způsobů, jak tento problém řešit se v průběhu desetiletí objevilo několik, z nichž za hlavní můžeme označit tyto:

Použití Bayerovy masky

Problém „barvosleposti“ fotocitlivého snímáče vyřešil polovině 70. let minulého století Bryce Bayer (1929-2012) ze společnosti Kodak. Jím navržený „Bayerův filtr“ („Bayerova maska“) je umístěn před snímáčem a na fotocitlivé buňky propouští vždy jednu konkrétní barvu světa. Původní konstrukce ze 70. let navrhovala pro čtveřici pixelů, tedy matici 2×2 fotocitlivých buněk barevnou masku GRBG. Tímto bylo zajištěno, že fotografie bude i s barevnou informací a současně bude nejlépe odpovídat realitě, kdy zelená barva nese nejvíce jasové informace.

V průběhu let přišli různí výrobci fotografické techniky s jinými uspořádáními Bayerovy masky, a to z více důvodů. Některé typy masek měly za cíl co nejvíce omezit nežádoucí efekty jako moaré, jiné zase používaly a používají různé velikosti pixelů snímáče (Fujifilm, 2009), čímž zlepšují jeho expoziční vlastnosti (Digital Photography Review, 2003), nebo jiné uspořádání Bayerovy masky více odpovídající uspořádání krystalů halogenidů stříbra ve filmové emulzi a snižující riziko vzniku moaré (Fujifilm, 2012).

U snímačů s Bayerovou maskou je následně potřeba barevnou informaci pro všechny pixely dopočítat. Tento proces se nazývá demosaicing a používá se k němu řada různých algoritmů, z nichž některé si chrání jako své know-how přímo výrobci fotoaparátů (často jde o specifické typy demosaicingu odvíjející se od konstrukce snímače, například zmíněný Fujifilm a jeho snímače X-trans), jiné jsou naopak veřejné, často vyvinuté na univerzitách. Mezi algoritmy dávající obecně nejlepší výsledky (nejkvalitnější eliminace rizika vzniku moaré, nejvyšší ostrost snímků) patří AMaZE¹².

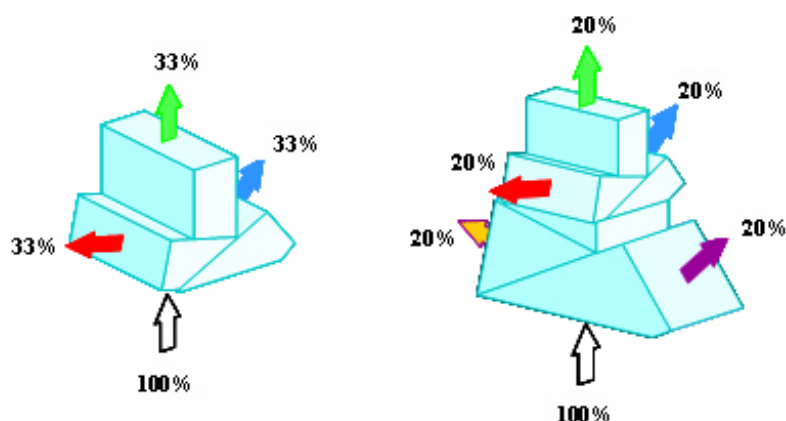


Obrázek 5: Uspořádání barevných filtrů v Bayerově masce. Zdroj:

https://en.wikipedia.org/wiki/File:Bayer_pattern_on_sensor.svg

Snímání třemi čipy za pomoci optického hranolu

Použití optického hranolu a dichroických filtrů před jednotlivými snímači funguje podobně jako Bayerova maska pouštějící na danou fotocitlivou buňku snímače jen konkrétní barvu. Zde však vždy jednu barvu pro celý snímač. Z logiky věci se takto na snímače dostává méně



Obrázek 6: Rozklad světla optickými hranoly na tři, resp. pět složek. Zdroj:

https://web.archive.org/web/20070607142209/http://www.alt-vision.com/color_prisms_tech_data.htm (dostupné z archivu)

¹² Aliasing Minimization and Zipper Elimination – autor Emil J. Martinec, profesor fyziky na The Enrico Fermi Institute při University of Chicago a současně vývojář programu RawTherapee

fotonů, jelikož celkový počet je rozdělen mezi jednotlivé snímače: v případě RGB se tak na snímače dostává třetina fotonů, kupříkladu společnost Optec ale uvádí i konstrukce pětibarevné¹³.

Použití barevného kolečka, resp. osvětlení více barevnými zdroji světla

Rotující barevné kolečko před snímačem funguje na podobném principu jako Bayerova maska či použití optického hranolu a více snímačů. Vystačí si však s jedním snímačem, nevýhodou ale je posuv barevné informace při pohybu obrazu, který může být viděn (barevná informace má pouze třetinovou vzorkovací frekvenci v čase). Na principiálně podobném základu funguje osvětlení políčka filmu různě barevnými zdroji světla a následnému složení barevné informace.

Použití posuvu snímače a vícenásobné expozice

Alternativou k plnobarevnému snímání à la Foveon je vlastnost některých fotoaparátů, která se objevila v posledních letech. Společnosti, které využívají ve svých digitálních fotoaparátech pro stabilizaci obrazu nikoli posuv členů v objektivě (OIS – Canon či Nikon), ale posuv snímače v těle fotoaparátu (pixel-shift – Olympus, Panasonic, Pentax, Sony a také delší dobu i středoformátový Hasselblad) zavedly možnost využívat tento posuv snímače buď ke zvýšení rozlišení, nebo ke zvýšení barevné věrnosti.

Například Olympus u svých aktuálních bezzrcadlovek formátu Micro Four Thirds používá 20Mpix snímač a jeho posuv k získání až 80Mpix snímků. Provádí přitom celkem 8 dílčích expozic (7 posuvů snímače), přičemž první tři posuvy vždy o jeden subpixel zajistí získání celé RGB informace v rozlišení 20Mpix a následné posuvy o polovinu subpixelu slouží primárně ke zvýšení rozlišení (Butler, 2015).

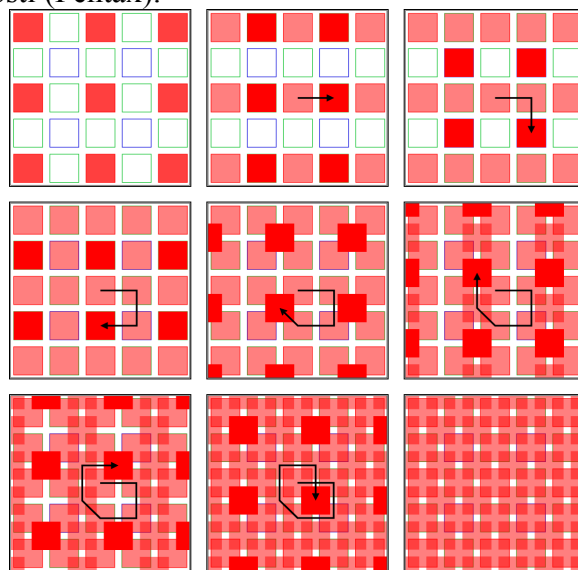
Konkurenční Pentax¹⁴ a Sony¹⁵ u svých vybraných fotoaparátů využívají posuv snímače k získání plné RGB informace, tedy vykonají čtyři dílčí expozice s posuvem vždy o jeden pixel.

¹³ Dostupné online z archivu: https://web.archive.org/web/20070607142209/http://www.alt-vision.com/color_prisms_tech_data.htm

¹⁴ Podrobnější informace k dispozici online: <https://www.imaging-resource.com/PRODS/pentax-k3-ii/pentax-k3-iiA.HTM>

¹⁵ Podrobnější informace k dispozici online: <https://www.insights4print.ceo/2017/11/accurate-image-capture-sonys-pixel-shifting-multi-shot/>

Obecně je posuv snímáče využitelný pouze omezeně, jelikož kvůli časové prodlevě (než se vykonají všechny dílčí expozice) je typicky takové snímky nutné pořizovat ze stativu a na pohybujících se objektech (větve strojů, vodní hladina) se objevují nežádoucí artefakty. Pro digitalizaci filmových materiálů, což je statická předloha, však mohou tyto techniky být velkým přínosem, jelikož vzorkují políčko filmu buď ve vyšším rozlišení (Olympus) nebo ve vyšší barevné věrnosti (Pentax).



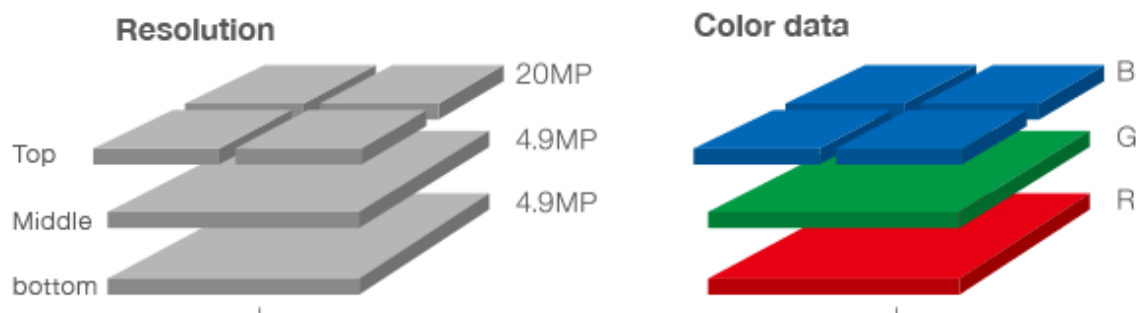
Obrázek 7: Znáznornění posuvu snímáče v podání bezzrcadlovek společnosti Olympus. Zdroj:

<https://www.dpreview.com/reviews/olympus-om-d-e-m5-ii/4>

Snímáče typu Foveon

Za plnobarevnými RGB snímáči typu Foveon stojí stejnojmenná americká společnost založená roku 1997. Tu v roce 2008 odkoupil její dvorní odběratel snímáčů, japonská Sigma.

První verze snímáčů Foveon byla označována Foveon X3. Obraz v ní byl snímán z více vrstev uvnitř křemíkového čipu, který absorbuje světelné záření různých vlnových délek



Obrázek 8: Princip snímáče Foveon X3 Quattro společnosti Sigma

Zdroj: <https://diit.cz/clanek/foveon-x3-quattro-rozliseni>

různé hluboko. Nejblíže vstupu světla do snímače tak byla odečítána modrá složka obrazu (v nejtenčí vrstvě), nejhluběji červená (v nejtlustší vrstvě). Přístroje využívající snímače Foveon, zejména zrcadlovky, bezzrcadlovky a kompakty Sigma, ukládají RAW data do vlastního formátu X3F / X3I. Při jeho dekódování do podoby fotografie (obdobně jako u demosaicingu dat ze snímačů s Bayerovou maskou) jsou používány odlišené matematické postupy, které Sigma nadále vylepšuje. Obecně je ale výpočet náročnější, s ohledem na větší množství dat.

V posledních generacích snímačů Foveon už Sigma upustila od plnobarevného RGB systému¹⁶. Snímače Foveon X3 Quattro snímají barevnou informaci pro všechny body snímače pouze pro první modrou vrstvu, vrstva zelená a červená má čtvrtinové rozlišení – u prvního snímače je tedy získáváno 20Mpix rozlišení i modré složky, u červené a zelené pouze 5Mpix.

Toto Sigma vysvětluje tím, že do spodní červené vrstvy se tak jako tak dostává již jen minimum obrazové informace, zanesené tudíž šumem snímače, jehož odstranění dále snižuje rozlišovací schopnost této vrstvy. Navíc s ohledem na dvojnásobnou vlnovou délku červeného světla zachytává tato vrstva už z principu jen zhruba polovinu detailů a svůj vyšší vliv na ni než na modrou má též difrakce. A do třetice platí, že objektiv je zaostřen k povrchu snímače, od nějž je červená vrstva vzdálenější, a tudíž méně ostrá. Hlavním faktorem ale je, že vrchní modrou vrstvou prochází samozřejmě i signál zelený a červený, takže u Foveon X3 Quattro dopočítává plné 20Mpix rozlišení pro červenou a zelenou vrstvu za pomoci dat z modré (Souček, 2014).

Dle vlastních měření společnosti Foveon z doby vzniku první generace tříbarevného snímače (kolem roku 2000) poskytovala technologie Foveon lepší výsledky než separace barevných složek optickým hranolem a použití tří monochromatických snímačů (Lyon, 2001). Tato informace však dnes už nemusí být platná.

1.4.5 Digitalizace filmového materiálu

Rozlišujeme dva základní typy filmových materiálů: negativ a pozitiv. Oba tyto typy historicky byly a dodnes jsou dostupné na trhu v provedení černobílém i barevném.

¹⁶ Popis dostupný online: <https://www.sigma-global.com/en/cameras/dp-series/technology/>

Pozitivní materiály byly bez ohledu na jejich generaci a typ vyvolávacího procesu uzpůsobeny tak, že po vyvolání, ustálení a bělení bylo filmové políčko (fotografie i film) připraveno pro přímou projekci, jeho podložka tedy sama o sobě nemá žádnou barvu a okraje filmového materiálu mimo snímek jsou po vyvolání černé. Negativní materiály většinou mají podložku nějak zbarvenu, což do procesu digitalizace vnáší oproti pozitivům jeden krok navíc: odečet barvy podložky.

1.4.6 Digitalizace papírových předloh

Oblast reflexivních materiálů, většinou na papírové podložce, je značně široká. Zahrnuje jak fotografie (kontaktní kopie či zvětšeniny) černobílé i barevné na bázi mnoha různých technologií, tak barevné časopisy na křídovém papíře, novinový tisk a řadu dalších oblastí. Není v možnostech této práce věnovat se takto širokému spektru materiálů, které lze digitalizovat.

Fotografie

Fotografických pozitivních procesů byly v průběhu posledních 200 let vynalezeny možná desítky. Mezi nejznámější patří například albuminový tisk, gumotisk, mokrá kolodiový proces, daguerrotypie či barevné zvětšeniny procesu RA-4 (současná technologie). Kompletní přehled hlavních pozitivních procesů a jejich úskalí z hlediska nakládání s fotografiemi, jejich digitalizace a další archivace shrnuje Metodika Národního technického muzea (Bezděk et al., 2016).

U papírových fotografií je potřeba rozlišovat způsob jejich vzniku. Klasické kontaktní kopie a zvětšeniny mají ryze analogovou povahu, a tudíž je jejich struktura obrazu tak nahodilá, jak nahodilé je zrno na negativu, ze kterého fotografie vznikla. V posledních více než 10 letech ale i při zpracování filmových negativů v minilabech převážily digitální technologie, a to dvou základních typů.

Prvním z nich je tvorba zvětšenin filmového políčka za pomoci klasického „mokrého procesu“, tedy osvitů světlocitlivého fotopapíru, avšak laserem, například s rozlišením 640 dpi. Vše je přitom v minilabu realizováno jediným přístrojem, do nějž obsluha na vstupu vloží film k vyvolání a automat (například od společnosti Noritsu Koki) provede vyvolání

filmu, jeho sken a vypálení fotografií na CD a také zmíněný osvit fotografií na fotopapír s uvedeným rozlišením.

Druhý typ minilabů používá metodu vyvolání filmu následovaného skenem a posléze již digitálním tiskem, kdy je na speciální fotopapíry tiskovou hlavou fotografie vytištěna, opět s nějakou hodnotou dpi.

Pro tyto dva moderní digitální způsoby tvorby zvětšenin z filmu platí, že pro sken je potřeba vyhnout se interferenci mezi původním rozlišením tisku/osvitu fotografie a rozlišením skenu. Přílišná blízkost obou rozlišení vede ke vzniku moaré, jemuž lze zamezit změnou rozlišení skenu (hodnoty dpi), ideálně na zhruba 3- až 3,5násobek s následným převzorkováním v grafickém editoru (GRAFIKA.cz, 1999).

Proces digitalizace odrazivé předlohy se od digitalizace filmového políčka dále příliš neliší. Není potřeba odečítat barvu podložky (jako je tomu například u barevných negativů procesu C-41)

Černobílé tištěné materiály (knihy)

U knih opět můžeme rozlišovat dva základní typy. Zejména u starších knižních titulů se setkáváme s knihami, které byly vysázeny klasickou cestou knihtisku, U novějších vydání (zhruba od začátku tohoto století) se používá digitální tisk, podobný tisku na domácích tiskárnách. Tyto tisky pak mají opět určité rozlišení.

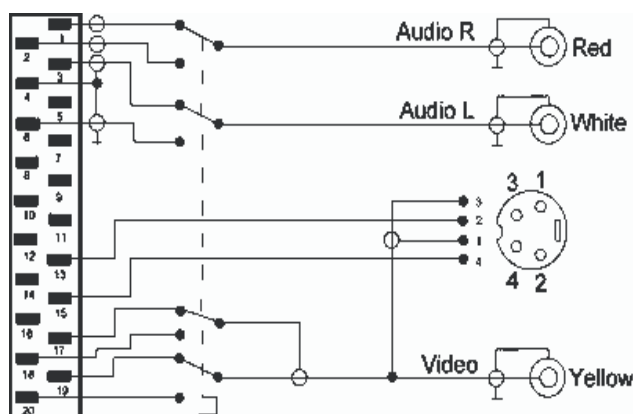
Některé předlohy také mohou být tištěny metodou polotónování, kdy je jeden obrazový bod tvořen více tiskovými body, zde je potřeba počítat s určitými hodnotami počtu čar na palec (lpi), rozlišení skenu v dpi by mělo být nejméně dvojnásobné, než hodnota lpi při tisku materiálu, který skenujeme (GRAFIKA.cz, 1999).

V případě tištěného textu dále lze provést převod z obrazových dat na textová metodou optického rozpoznávání znaků – OCR (Optical Character Recognition).

1.4.7 Digitalizace magnetických pásků

Analogově uložená obrazová data můžeme digitalizovat též z magnetických pásek typu VHS/S-VHS, Video 8/Hi8 a řady dalších formátů, které byly v minulých desetiletích používány.

Obrazová data jsou na magnetických páskách typu VHS a Video 8 fyzicky uložena při záznamu rotačními hlavami které mění strukturu magnetické vrstvy pásky a pojíva. Proces digitalizace začíná právě zde, u obrazových hlav videopřehrávače či videorekordéru.



Obrázek 9: Schéma vzájemného propojení analogových video konektorů. Zdroj:

http://pinouts.ru/VideoCables/scart_adapter_pinout.shtml

S jejich pomocí je z pásky čten signál, který je následně zesílen převeden do podoby analogového signálu pro standardní výstupy. Běžné videopřehrávače a videorekordéry typicky disponovaly výstupy kompozitního videa / S-Video (oddělené signály luminance a chrominance), výstupem do TV anténního konektoru, případně výstupem komponentním (obecně YPbPr/YCbCr či RGB).

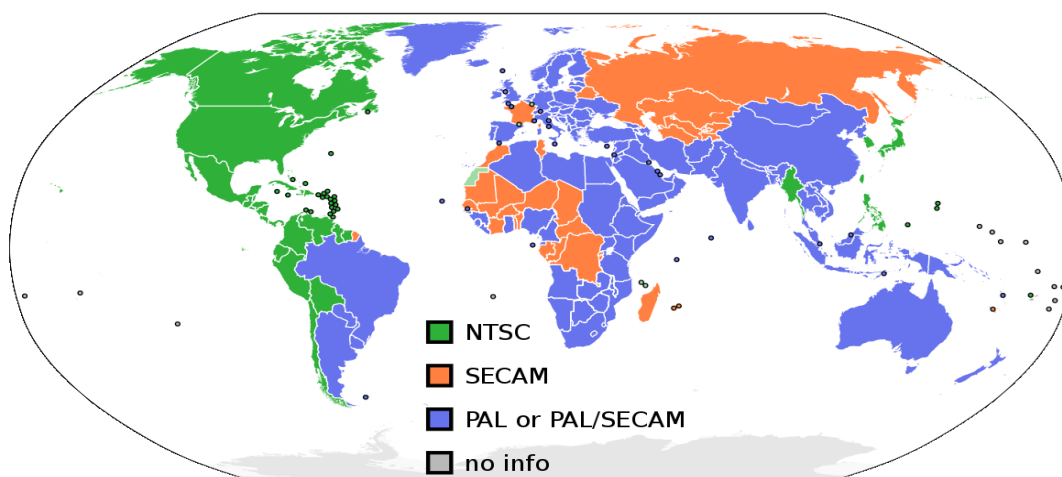
Pro digitalizaci je potřeba v počítači mít příslušné zařízení s analogovým video vstupem. Nejčastěji se používaly a používají buď grafické karty s Video-In (dnes již nedostupné) či přídatné karty s TV tunerem (interní pro PCI či PCI Express sběrnici, nebo externí typicky s USB rozhraním).

Film na magnetické pásce je vždy uložen v nějakém standardu. V České republice se lze historicky setkat se dvěma způsoby kódování barevného analogového TV vysílání. Francouzská norma SECAM je kvalitativně horší, ale byla z politických důvodů používána Československou televizí od roku 1973, kdy bylo barevné vysílání zahájeno, až do června 1992. 1. července 1992 přešla ČSFR na německou normu PAL (Babor, 2009).

S ohledem na tuto skutečnost lze v archivech (ať již domácích či firemních / institučních) přijít do styku se záznamy na VHS a jiných kazetách, které byly nahrány s normou SECAM. Pokud by taková kazeta byla digitalizována technologickým řetězcem, který televizní normu

SECAM nepodporuje (například novější VHS videorekordéry a přehrávače), bude získaný záznam černobílý.

I při dostatečné technické kvalitě všech zařízení v digitalizačním řetězci se může stát, že některé kazety nepůjdou zkopírovat bez chyb. To může být dáno skutečností, že například originální VHS kazety s filmy byly chráněny ochranou společnosti Macrovision. Existovala technická řešení, jak ochranu obejít, nicméně toto téma přesahuje rámec práce.



Obrázek 10: Používané TV normy v jednotlivých zemích světa. Zdroj:

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:PAL-NTSC-SECAM.svg> (licence public domain)

Prokládaný a progresivní obraz

Dále je potřeba rozlišit dva typy na pásce uložených materiálů. Televizní vysílání v analogové éře probíhalo prokládané, tedy obraz nebyl šířen v podobě 25 snímků za sekundu, ale formou 50 pulsnímků, přičemž se střídaly pulsnímký s lichými a sudými řádky obrazu.

Pokud například Československá televize vysílala film původně natočený na filmový materiál rychlostí 24 políček za sekundu, tento film byl pro potřeby televize o přibližně 4 % zrychlen na 25 fps a vysílán v podobě 50 pulsnímků za sekundu. Nicméně lichý a sudý pulsnímek v daném okamžiku vždy pocházely ze stejného filmového políčka původního záznamu, protože u takovýchto VHS záznamů není potřeba se odstraněním prokládání zabývat.

Převod díla na filmovém materiálu o 24 fps do podoby 50 pulsnímků (PAL / SECAM svět), resp. 60 pulsnímků (NTSC svět) se nazývá Telecine. V průběhu desítek let byl vyladěn

takřka k dokonalosti, aby byl prost nežádoucích jevů, kdy není synchronizován zdroj (políčko filmu) s vertikální synchronizací záznamu pro TV vysílání a docházelo by tak k tečení obrazu (tearing). Jak již zaznělo výše, v našem PAL/SECAM světě potřeba Telecine nevznikala, filmy byly vysílány zrychleně v poměru 25/24. Telecine se primárně uplatňovalo v NTSC světě, kdy by zrychlení v poměru 30/24 vedlo ke zkrácení délky díla o 20 %, tedy například dvouhodinový film by americká či japonská TV odvysílala za 1 hodinu a 36 minut. Zde se tedy uplatňoval Telecine proces ve variantě zvané 2:3 pulldown.

K tomuto postupu existuje i jeho opačná varianta, označovaná obvykle jako Inverse Telecine (někdy též reverse pulldown). Například některé DVD přehrávače či digitální video-rekordéry byly schopné rozpoznat, že video prošlo 2:3 pulldown procesem, náležitě jej kompenzovat a takto rekonstruovat původní 24fps film. Výhodou tohoto postupu byl kvalitnější obraz s plnými snímky. Inverse Telecine lze aplikovat na digitalizovaný záznam i v běžně dostupných softwarových nástrojích.

U záznamů pořizovaných televizními kamerami či spotřebitelskými kamerami typu (S-)VHS(-C) už původní záznam vznikal v podobě 50 pulsů. Takto může být dnes digitalizován, ale pro současné potřeby digitálního zobrazení je vhodné použít metody odstranění prokládání a záznam převést na progresivní s počtem 25 snímků za sekundu.

Odstranění prokládání

Metod převodu prokládaného videa na progresivní je více. Nejjednodušší je weaving, prosté složení lichých a sudých řádků do jednoho celého snímku. Teoreticky je tato metoda dobře použitelná pro statické záběry, kdy nesnižuje ani ostrost, ani rozlišení, nicméně jakýkoli pohyb vytvoří na výsledném snímku videa zuby,

Metoda blending provádí zprůměrování hodnot z obou pulsů, výsledné video tedy ztrácí na ostrosti a u pohybujících se objektů ve scéně se objevují duchy.

Existují varianty kombinující blending a weaving dohromady, obvykle označované jako smart blending.

Svým způsobem patří mezi deinterlační metody také proces inverse telecine.

Prokládání lze dále eliminovat dvěma metodami vedoucími k poklesu rozlišení na polovinu. Jedna zobrazuje pulsů jako samostatné snímky, čímž de facto snižuje vertikální

rozlišení na polovinu, druhá pak zdvojuje řádky pouze jednoho typu pulsů. Video tak má ve výsledku poloviční vertikální rozlišení.

Pod značkou společnosti Faroudja Labs vyvinul Yves Faroudja několik metod odstranění prokládání pro NTSC, z nichž nejznámější je patrně DCDi (directional correlational de-interlacing), algoritmus, který vedle odstranění prokládání provádí též upscaling dat ze standardního rozlišení do HDV¹⁷. Za dobu svého působení obdržel několik cen včetně dvou Emmy v oblasti technologie a inženýrství, sám je silným kritikem používání prokládaných režimů.

Z posledních let lze doplnit, že European Broadcasting Union už více než 10 let doporučuje používání neprokládaného videa pro pořizování záznamů¹⁸.

1.5 Výhody digitalizace analogových záznamů

Obecně existují následující hlavní výhody plynoucí z digitalizace starých materiálů:

- zpřístupnění historických materiálů v digitální podobě, včetně služeb typu Google Fotky, Facebook / Instagram, Flickr, YouTube, Vimeo a dalších.
- technologicky odlišná záloha (nikoli však archivace)
- vylepšení kvality starších fotografií (oprava vad expozice, vyvážení bílé, zvětšení fotografie)
- snaha či nutnost úspory místa (např. nahrazením desítek rodinných alb uložením fotografií do cloudu či na NAS)
- snížení rizika totální ztráty (požár, povodeň, krádež)

Dále podíváme-li se na digitalizaci filmových materiálů z hlediska porovnání technické kvality výsledné fotografie, můžeme vzít za etalon kontaktní kopie velkoformátových negativů vytvářené mistry své éry, jakými byli například Edward Weston či Josef Sudek. Právě Sudek říkal, že „*kdyby mohl, vzal by si ještě větší foťák*“. Bylo to dáno tím, že kontaktní kopie byla v jeho době kvalitativně nejvyšším způsobem převodu negativu na pozitiv (Kisil, Etlik, 1996). Fotograf Jan Reich v souvislosti s vydáním jeho knihy

¹⁷ Dostupné online z archivu:

https://web.archive.org/web/20070928010635/http://www.gnss.com/tch_dcdi_overview.phtml

¹⁸ Dostupné online z archivu:

https://web.archive.org/web/20110607082032/http://www.ebu.ch/en/technical/trev/trev_300-ibc-2004.html

Bohemia konstatoval, že s dnešními technickými prostředky digitalizace lze dosáhnout při stejném rozměru tisku jaký by měla kontaktní kopie vyšší kvality obrazu.¹⁹

1.6 Technické vybavení

Zařízení pro práci s analogovými médii je principiálně dvojího typu: přístroje potřebné pro reprodukci záznamů a přístroje potřebné pro digitalizaci záznamů. Zčásti se tyto dvě skupiny překrývají, například pro přehrání, stejně jako digitalizaci VHS kazety je zapotřebí VHS přehrávač. Pro přehrávání však postačí přehrávač připojit k zobrazovacímu zařízení (nejčastěji TV), pro digitalizaci vstupují do hry jiné přístroje a technické vybavení.

Z hlediska digitalizace jednotlivých typů analogových nosičů obrazových a video dat hovoříme o těchto technologických řetězcích, které popisují následující kapitoly.

Technologický řetězec	Film	Magnetická páska	Kniha
Zařízení pro získání záznamu	Skener (plochý, filmový, bubnový), digitální fotoaparát (s makro objektivem), atd.	Přehrávač daného formátu (např. VHS, Betamax)	Skener (plochý, knižní), digitální fotoaparát.
Digitalizační zařízení		Přístroj či karta s analog video vstupem	
Software	Pro obsluhu skeneru, pro zpracování dat z fotoaparátu	Pro digitalizaci videa ze vstupu digitalizačního zařízení	Pro obsluhu skeneru, pro zpracování dat z fotoaparátu, pro OCR převod.
Digitální datový nosič	Pevné disky, optické nosiče (DVD, BD), magnetopáskové jednotky, cloudová úložiště atd.		

1.6.1 Dostupnost v současnosti

Digitalizaci analogových materiálů je vhodné provést nejdříve nejen z důvodu degradace analogových médií, ale také kvůli klesající dostupnosti přístrojů pro reprodukci analogových

¹⁹ „K mému překvapení některé tisky jsou lepší než ty (kontaktní) fotografie, protože je tam daleko víc detailů.“ ... Jan Reich – rozhovor dostupný online: https://www.youtube.com/watch?v=N_gSD9_9q6o

záznamů. Ve srovnání s obdobím před desítkami let je ve světě, Evropě i České republice v provozu jen minimum kinosálů schopných projekce filmů ze 70mm pásů – v České republice stabilně dva (jeden v Krnově, kde se každoročně koná festival 70mm filmu Krrr!, druhým je Centrum Panorama ve Varnsdorfu).

Podobné je to i s dostupností amatérských promítaček na 8mm a 16mm film, resp. přístrojů k promítání diapozitivů (lepší je situace s dostupností pro 35mm kinofilm, pro svitkový film je i nabídka z druhé ruky extrémně omezená). Totéž můžeme říci i o přehrávačích a rekordérech formátů VHS/S-VHS a Video-8/Hi8.

Pásky tohoto typu také pozvolna podléhají degradaci uloženého záznamu, na níž má podíl postupné vzájemné prokopírovávání vrstev pásky v kazetě (v závislosti na kvalitě pásky) a další jevy. Obvyklá životnost dle některých zdrojů (Keatinge, 2009) dosahuje zhruba 20 až 30 let, nicméně dle technologie výroby pásky může degradace proběhnout v krátkém období. Jiné zdroje uvádí jako příklad 10% až 20% ztrátu signálu na pásce čistě efektem úbytku magnetické remanence²⁰ v průběhu 10 až 25 let (ScanCafe).

1.6.2 Typy skenerů pro průsvitné i reflexní předlohy

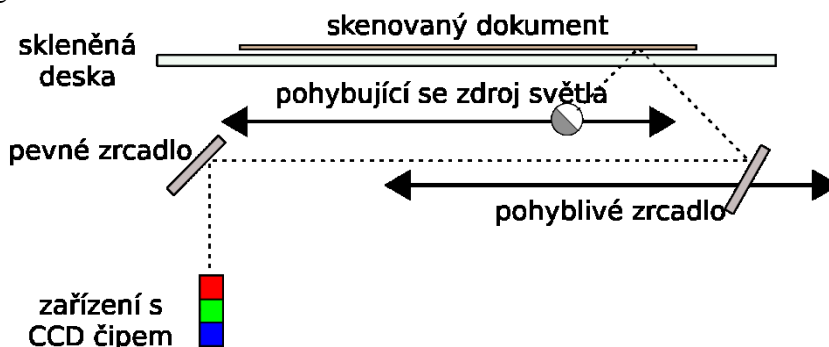
Skenery pro filmové předlohy můžeme dělit na čtyři kategorie (Wagner).

Ploché stolní skenery

Nejběžnějším typem na trhu je plochý skener (tzv. flatbed). Základní levné modely této třídy využívají snímače typu CIS (Contact Image Sensor), které jsou konstrukčně velmi jednoduché: zdroj světla i pole fotocitlivých prvků jsou umístěny společně na posuvné části. Tyto typy se však hodí pouze pro odrazivé předlohy (knihy, letáky, vizitky, fotografie na papíru atd.).

²⁰ Magnetická remanence – zbytková magnetizace, která přetrvává ve feromagnetické vrstvě pásky po ukončení působení vnějšího magnetického pole (záznamových hlav videorekordéru).

Od zhruba dvojnásobné ceny jsou na trhu k dispozici ploché stolní skenery vybavené ve víku dalším zdrojem světla pro sken. Ty již podporují skenování průsvitných předloh, tedy zejména filmových negativů a pozitivů. Dle ceny a cílení na zákazníka je lze rozdělit na čtyři kategorie:



Obrázek 11: Princip fungování skeneru pro reflexní předlohy.

Zdroj: https://en.wikipedia.org/wiki/File:CPT_Hardware-Input-scanner-

1. Nejlevnější modely – cena v roce 2018 od zhruba 3 000 Kč. Jsou vybaveny pro skenování 35mm filmu („kinofilm“; pouze 1 pás), nepodporují technologii Digital ICE²¹ pro odstranění škrábanců a mají nejnižší optickou hustotu kolem 3,2 D. Typickým zástupcem je Epson Perfection Photo V370.
2. Střední třída – skenery v cenové relaci od zhruba 5 000 Kč. Jsou vybaveny možností skenovat 35mm film (dva pásy najednou) a svitkový film (formát 120 a 220). Typicky podporují Digital ICE (mají zdroj infračerveného světla) a jejich optická hustota se pohybuje kolem 3,5 D. Typickými zástupci jsou Epson Perfection Photo V550 a V600 či Canon CanoScan 9000F Mark II.
3. Vyšší třída – skenery v cenové relaci přibližně od 15 000 Kč. Umí skenovat až čtyři pásy 35mm filmu, dva pásy svitkového filmu a dále velkoformátové negativy obvykle až do rozměru 8×10" (včetně možnosti skenování v kapalině). Disponují vyšší softwarovou výbavou, možností měnit zaostření skenovací části a jejich optická hustota bývá 4,0 D a více. Typickými zástupci jsou Epson Perfection Photo V800 a V850.

²¹ Digital ICE (Digital Image Correction and Enhancement) – označení technologií sloužících k vylepšení či opravě snímků. Dnes je synonymem pro vlastnost skenerů opravovat při skenu škrábance na filmovém materiálu za pomoci dalšího průchodu s infračerveným zdrojem světla. Technologie IR skenu však není použitelná pro černobílé filmy na bázi halogenidů stříbra (materiál IR paprsky odráží) a diapozitiv Kodak Kodachrome (jeho tyrkysová vrstva IR paprsky pohlcuje).

4. Nejvyšší profesionální třída – zástupcem jsou například skenery řady Eversmart Supreme, typické parametry zahrnují skenování do velikosti A3+, třířádkový chlazený CCD snímač, optické rozlišení 5 600×14 000, optickou hustotu 4,5 D (či více) a cenu v desítkách tisíc Kč.

Pro vybrané modely těchto plochých skenerů lze dokoupit produkty třetí strany, například upravené držáky filmů betterscanning.com, které podporují výškovou nastavitelnost předlohy i u nižších modelů skenerů a jsou dodávány s anti-newton sklíčky²² (ANR Glass).

Filmové skenery

Kategorie skenerů, která se objevila v 90. letech 20. století, byla primárně určena pro domácí a poloprofesionální skenování kinofilmových políček. Pouze několik málo modelů bylo vybaveno i pro skenování svítkového filmů (aktuálně je na trhu pouze jediný takový skener), výše ale filmové skenery nedosáhly.

Tato kategorie se postupem let v první polovině prvního desetiletí 21. století vypracovala přibližně na úroveň optického rozlišení 5400 dpi a optické hustoty 4,8 D. V současné době tyto skenery dodává na běžný trh pouze společnost Plustek.

Ani nejvyšší modely filmových skenerů se však neobešly bez konstrukčních problémů, například Nikon Coolscan LS-9000 trpěl postupnou ztrátou ostrosti během skenu s více průchody v důsledku přehřívání elektroniky (Kamarád, 2004).

Každopádně tato třída skenerů má oproti stolním plochým jednu podstatnou výhodu: v cestě mezi zdrojem světla a snímacím členem se uvnitř skeneru nenacházejí dvě skla, pročež je sníženo riziko vzniku Newtonových kroužků²³.

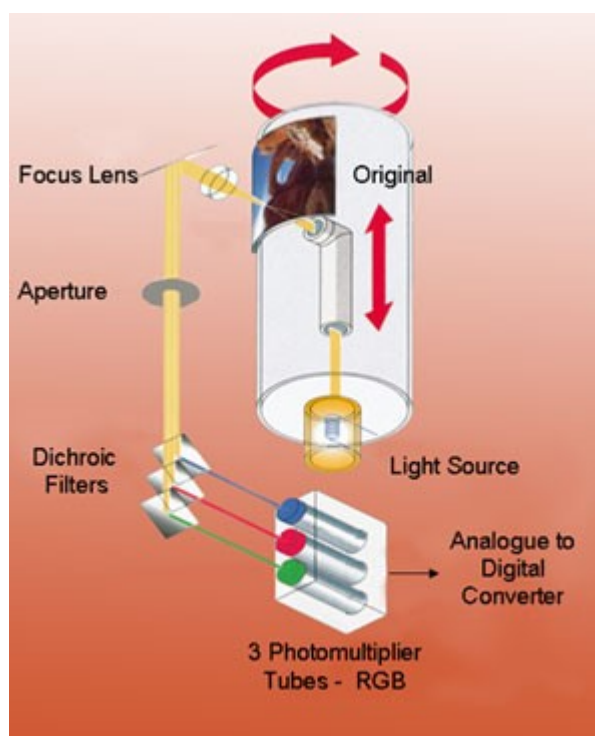
²² ANR (Anti-Newton Ring) skla zamezují vzniku tzv. Newtonových kroužků.

²³ Newtonovy kroužky – objevují se v obraze, když je filmová předloha ve skeneru příliš zkroucená či prohnuta. Jde o optickou interferenci se skleněnými tabulkami skeneru (na jedné leží skenovaná předloha v držáku, druhá kryje zdroj světla ve víku skeneru).

Bubnové skenery

Historicky nejstarší typ skenerů v principu představil světu už v roce 1963 Rudolf Hell. Tehdy s ohledem na téměř nulovou dostupnost počítačové techniky nešlo o zařízení pro digitalizaci filmových materiálů, ale pro barevnou separaci²⁴.

Obecně platilo a stále platí, že bubnový skener byl extrémně drahé zařízení, s přepočtenou cenou typicky v řádu stovek tisíc Kč. Dnes se již téměř nevyrábí, vyřazené starší typy lze koupit obvykle za desítky tisíc Kč (mezi známé výrobce bubnových skenerů patřily společnosti jako Heidelberg, Scitex či Scan View).



Obrázek 12: Princip bubnového skeneru.

Zdroj: <https://www.icg.ltd.uk/whydrum/whydrum.htm>

Princip funkce bubnového skeneru spočívá v řadě kroků ve srovnání s běžnými typy skenerů náročných na preciznost provedení. Nejprve je nutné uchytit skenovaný negativ k bubnu pomocí pásky. V této fázi se typicky používá též vnesení kapaliny mezi buben a film, čímž se zamezí vzniku Newtonových kroužků, vyplní případné škrábance na filmu a zajistí perfektní přilnutí filmu k bubnu.

²⁴ Proces, při kterém jsou z plnobarevného negativu různými technickými procesy získány jednotlivé barevné kanály a ty přeneseny na černobílý negativ, například z důvodu výrazně vyšší archivní stálosti.

Následuje fáze skenu, kdy je roztočen buben s předlohou. Zdroj světla osvítí předlohu zevnitř bubnu směrem ven, kde se nachází systém optických členů a zrcadel předávající signál na fotocitlivý člen, obvykle typu fotonásobiče²⁵. Ty mohou díky zesilování signálu na vnitřních dynodách²⁶ konvertovat velmi malé množství světla na měřitelný elektrický signál. Přesnost snímání fotonásobičů dosahuje schopnosti rozlišit dva po sobě jdoucí fotony (resp. elektrony), které mají časový odstup v řádu nanosekund (Reichl, Všeticka, 2006).

Bubnový skener postupně skenuje operátorem vyznačenou oblast (například políčko filmu) pixel po pixelu. Uváděna je rozlišovací schopnost 12 000 dpi (Wagner).

Virtuální „bubnové skenery“

Jakýmsi hybridem mezi filmovými a bubnovými skenery je několik typů skenerů Flextight původně vyvinutých nizozemskou společností Imacon, nyní prodávaných pod značkou Hasselblad.

Při skenu se využívá uchycení filmu v magnetické masce, která je prohnutá a film je tak vypjat v jakémisi „virtuálním bubnu“. Toto uchycení kompenzuje přirozenou snahu filmu kroutit se, protože benefit z protiohybu roste s velikostí filmu (výrazněji je tento způsob uchycení ku prospěchu i svitkového filmu a velkých listových negativů). Tento způsob je k filmovému materiálu šetrnější a vede k celkově rychlejší proceduře skenu (Wagner).

Aktuálně žádný ze skenerů rodiny Flextight nedisponuje infračerveným zdrojem světla pro Digital ICE, ale nejvyšší model Flextight X5 používá u zdroje světla kondenzor a nepřímé prosvícení skenované předlohy.

Web ScanDig uvádí na základě vlastních měření reálně dosahované rozlišení 6 900 ppi pro 35mm film, 3 200 ppi pro svitkový film a 2 040 ppi pro velký formát. Souvisí to s odlišnou vzdáleností CCD snímače od různých typů skenované předlohy.

Skener Hasselblad Flextight X5 lze na českém trhu koupit za přibližně 650 tisíc Kč.

²⁵ Photomultiplier tube (PMT) je vysoce citlivá speciální verze elektronky využívaná od poloviny 30. let 20. století. Ve srovnání s polovodičovými prvky má vyšší citlivost a menší zanesení signálu šumem.

²⁶ Dynoda – elektroda uvnitř fotonásobiče, obvykle přítomna v počtu několika kusů.

Digitální fotoaparát s makro režimem/objektivem

Za speciální druh digitalizačních zařízení pro filmové materiály lze považovat možnost použití digitálního fotoaparátu (s ohledem na potřebné parametry převážně D-SLR²⁷ či bezzrcadlovky²⁸).

V současnosti jsou na trhu dostupné kvalitní přístroje těchto tříd v nízkých cenových hladinách, které rozlišením snímáče převyšují detailnost obrazu na filmovém políčku. V segmentu APS-C přístrojů jsou běžně k dispozici 24Mpix přístroje, přičemž společnost Samsung v roce 2014 představila 28Mpix APS-C bezzrcadlovku NX-1.

V segmentu full-frame²⁹ D-SLR a bezzrcadlovek jsou na trhu k dispozici 50Mpix zrcadlovky Canon EOS 5DS / 5DSR, 45Mpix Nikon D850 a dále 42,4Mpix Sony A7R II a 36Mpix Pentax K-1, obě vybavené technologií posuvu snímáče a vícenásobné expozice (podrobněji v kapitole Získání barevné informace).

Společnost Nikon nabízí k zrcadlovce D850 nástavec pro digitalizaci kinofilmových políček ES-2³⁰, který je doporučeno používat s makro objektivem AF-S Micro NIKKOR 60 mm f/2,8G ED. Zrcadlovka D850 má softwarovou podporu pro automatické zpracování dat do podoby JPEG souboru (Becker, 2018).

Z hlediska objektivů se pro digitalizaci kinofilmu obecně doporučuje kombinace full-frame D-SLR a objektivu s makro režimem 1:1. Pro digitalizaci svitkových filmů či velkoformátových listů postačí menší zvětšení i s objektivy s „falešným makro režimem“ (typicky objektivy typu tele-zoom), případně použití reverzního kroužku a standardního 50mm objektivu s manuálním ovládáním.

²⁷ Z anglického Digital Single Lens Reflex, označení pro digitální zrcadlovku, tedy fotoaparát s výměnnými objektivy, optickým hledáčkem a sklopným zrcátkem.

²⁸ Označení pro přístroje s parametry (zejména velikostí čipu) na úrovni digitálních zrcadlovek, avšak bez optického hledáčku, hranolu a zrcátka. Přístroje této třídy bývají též označovány termínem systémový kompakt.

²⁹ Anglický termín označující plný formát snímáče odpovídající kinofilmovému políčku na 35mm filmu, tedy fotoaparát se snímáčem o velikosti 36×24 mm. Bývá považován za etalon, vůči kterému se poměřují jak formáty menší (APS-H, APS-C či Micro4/3 aj.), tak formáty větší (snímáče pro střední formát).

³⁰ Popis produktu dostupný online: <https://store.nikon.cz/adapt%C3%A9r-pro-digitalizaci-film%C5%AF-es-2/VWD304AW/>

Při velmi nízkých nárocích na kvalitu digitalizace lze použít například kompaktní fotoaparáty typu ultrazoom, které disponují malým snímačem s malým dynamickým rozsahem a podporují ostření typicky už při 1cm vzdálenosti od objektu.



Obrázek 13: D-SLR Nikon Df s objektivem Micro-NIKKOR 55mm f/3.5 a nástavcem Nikon ES-2. Zdroj: http://www.throughthefmount.com/articles_rev_es-2.html

Knižní skenery

Pro skenování knih existují speciální typy skenerů. Využívají různé principy skenování, ale spojuje je jedna klíčová vlastnost: jsou fyzicky konstruovány tak, aby v procesu skenování nedocházelo k poškozování vazby knihy.

Mezi běžný spotřebitelskými produkty jsou na trhu k dispozici ploché stolní skenery řady Plustek OpticBook. Ty se vyznačují tím, že jedna hrana skeneru je extrémně zúžená a knihu tak lze položit středem k okraji skeneru.

Tento konstrukční prvek výrobce nazývá Shadow Elimination Element, neboť kromě výrazně šetrnějšího přístupu k vazbě knihy oproti skenování knihy na klasickém plochém skeneru eliminuje tmavou linii mezi stránkami.

Výrobce se skenery dodává i potřebné softwarové vybavení pro OCR³¹ a ukládání do formátu PDF.



Obrázek 14: Skener Plustek OpticBook 3800 se ztenčenou hranou. Zdroj:
<http://plustek.com/oeu/products/flatbed-scanners/opticbook-3800/>

Vyšší třídou knižních skenerů zejména pro profesionální použití v institucích a automatizované skenování jsou přístroje, na které se kniha položí textem nahoru, je nasvícena vlastním zdrojem světla a vyfocena digitálním fotoaparátem, který je součástí skeneru.

Řešení tohoto typu jsou na trhu v cenových relacích od přibližně 5 tisíc Kč (například skenery Aibecy Adjustable s USB rozhraním, duálním 10Mpix+2Mpix fotoaparátem a podporou předloh do velikosti A3) až po stovky tisíc Kč. Liší se rozlišením „skenu“, případnou přítomností automatického obrácení stránek a zejména pak jeho šetrností vůči předloze.

³¹ OCR – Optical Character Recognition, metoda rozpoznávání písma v obrazu sloužící k převodu skenované předlohy do textové podoby.



Obrázek 15: knižní skener Aibecy Adjustable HD. Zdroj: <https://www.amazon.com/Aibecy-Adjustable-Document-Mega-pixel-Classroom/dp/B07428GRFT>

Protahovací / dokumentové skenery

Pro skenování listových předloh, tedy jednotlivých papírů a jednotlivých fotografií, lze využívat též skenery uzpůsobené pro průchod tohoto typu předloh a optimalizované na co nejvyšší rychlost digitalizace.

Ze současné nabídky trhu lze jako příklad uvést skener Plustek ePhoto Z300³². Ten disponuje LED zdrojem světla, rozlišení 600×600 dpi a papír velikosti A4 oskenuje za 5 sekund, fotografii formát 10×15 cm za 2 sekundy. Dodávaný software je vybaven pro automatické ukládání, možnost rychlých korekcí v post-processingu (automatické srovnání linií, automatický ořez, expozice, vyvážení bílé, automatické optimalizace) i rychlé sdílení na sociálních sítích či uložení na cloudové úložiště. Denní zatížení může dosahovat až 500 skenovaných listů, pročež pro rychlou digitalizaci například domácího archivu papírových fotografií jde o časově efektivnější řešení než stolní skener.

1.6.3 Vybavení pro digitalizaci záznamů na magnetických páskách

Kromě skutečnosti, že pro digitalizaci záznamu uloženého na daném typu magnetické pásky je potřeba zařízení s tímto formátem pracující, je vhodné dbát několika dalších kritérií.

³² Popis produktu dostupný online:

https://plustek.com/us/products/film_photo_scanners/ephoto_z300/index.php

Podpora televizních norem

Přístroje, například VHS rekordéry, mohou podporovat širší spektrum televizních norem, vedle PALu dále SECAM a NTSC. U normy PAL bylo v našich končinách důležité sledovat, zdali zařízení podporuje stereofonní zvuk ne pouze v západní normě B/G, ale také naši normě D/K³³. O poslední generaci VHS rekordérů, typicky identifikovatelných podle 6 hlav a podpory LP režimu záznamu, lze v řadě případů říci, že jejich elektronika podporovala přehrávání kazet se záznamem v severoamerické normě NTSC.

Podporou příslušné televizní normy musí být vybaveno také příslušné digitalizační zařízení v počítači (grafická karta, TV tuner apod.).

Počet rotačních hlav přehrávače (rekordéru)

Udávaný počet rotačních hlav je významným kvalitativním kritériem, počet přitom býval typicky v rozsahu 2 až 6. U dvouhlavých videorekordérů nebylo možné kvalitě krokovat obraz po jednotlivých snímcích (toto vyžadovalo třetí obrazovou hlavu). Zejména čtyřhlavé a vyšší modely disponovaly pokročilejší specifickou formou ovládání krokování záznamu po jednotlivých (půl)snímcích v podobě ovladače Jog&Shuttle.

Šestihlavé videorekordéry disponovaly podporou záznamu a přehrávání zvuku v příčných stopách rotačními hlavami, přičemž takto byl zvuk ukládán ve vyšší kvalitě než při monofonním záznamu do podélné stopy pásku (dvou- a tříhlavé přístroje).

Výhodou vícehlavých rekordérů dále byla podpora LP³⁴ záznamu, později někteří výrobci posledních generací VHS rekordérů přidali též režim EP³⁵. Čím více rotačních hlav rekordér měl, tím lépe by také schopen držet optimální dráhu pásku po hlavách (auto-tracking). Zejména při digitalizaci velmi starých či velmi ohraných pásků je to vlastnost často rozhodující o tom, zdali půjde záznam vůbec přehrát.

Poslední generace VHS rekordérů často disponovaly podporou formátu S-VHS ET³⁶.

³³ B/G používala odstup mezi nosnou frekvencí obrazu a zvuku 5,5 MHz, D/K pak 6,5 MHz

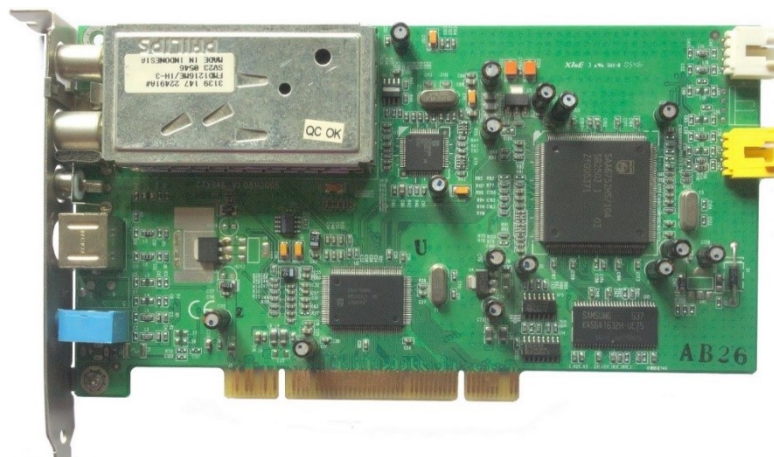
³⁴ LP – Long Play, záznam využívající poloviční rychlost posuvu pásky a z toho plynoucí dvojnásobná doba záznamu: na kazetu E240 se tak vešlo 8 hodin videa.

³⁵ EP – Extra Long Play, třetinová rychlost záznamu, na kazetu E240 se vešlo 12 hodin záznamu.

³⁶ Formát uvedený společností JVC umožňoval záznam v kvalitě S-VHS na pásky typu VHS (s mírně modifikovanými parametry záznamu oproti S-VHS), přičemž v standardních S-VHS přístrojích jej bylo možné přehrávat (byl zpětně kompatibilní).

Digitalizační zařízení

Nejtypičtějším zástupcem cenově dostupným i amatérům byly a jsou karty typu TV tuner. Ty jsou typicky vedle průchozího anténního konektoru pro TV tuner vybaveny vstupy Composite a S-Video a také analogovými konektory pro zvuk³⁷ (3,5mm jack, nebo RCA/Cinch).



Obrázek 16: TV tuner Creatix CTX946 se vstupy Cinch a S-Video, digitalizačním čipem Philips SAA7134HL a hardwarovým MPEG-2/AC-3 kóděrem Philips SAA6752HS pro SD rozlišení.

Klíčovou roli pro kvalitu záznamu hraje u digitalizační karty kvalita hlavního čipu. Ta mnohdy u méně kvalitních pásků rozhoduje nejen o obrazové digitalizovaného záznamu, ale i vůbec o možnosti jej zaznamenat. Mnohé starší čipy (například Conexant BT878) při nekvalitním analogovém systému ztrácely A/V synchronizaci či dokonce obrazové snímky (drop frames).



Obrázek 17: Srovnání kvality záznamu na TV kartách s čipem Conexant Bt878 (vlevo) a Philips SAA7134 (vpravo). Zdroj: <https://diit.cz/clanek/vyhodili-jste-stare-vhs-velka-chyba>

³⁷ Zvukovou část digitalizovaného záznamu lze z přehrávače přivést i do jiného zařízení, například lépe stíněné zvukové karty, případně nahrát odděleně a spojit až při zpracování dat.

Pozdější generace čipů jako Philips SAA7134 a SAA7135 si dokázala poradit s problematickými kazetami lépe (Ježek, 2012).

1.6.4 Softwarové vybavení

Zpracování filmových a papírových předloh

Výrobci skenerů prakticky ve všech případech dodávají se svým výrobkem software pro jeho obsluhu. U levnějších modelů jde většinou o firemní software (například u produktů společnosti Epson jde o Epson Scan, doprovázený editačním programem Adobe Photoshop Elements), u vyšších modelů přidávají obvykle též i propracovanější skenovací software od společnosti SilverFast. Obvykle jsou dodávanými nástroji podporovány zejména platformy Microsoft Windows a Apple macOS X. Pro účely této práce použijeme software třetí strany VueScan, který je k dispozici navíc i pro platformu Linux. Uvedené postupy lze samozřejmě aplikovat také v jiných programech.

Pro následné zpracování fotografií lze s úspěchem použít různé nástroje pro práci s digitálními RAW formáty. Z volně dostupných to je to například Rawtherapee³⁸ (používán v této práci), jehož výhodou je podpora velkého množství algoritmů a vysoká přesnost interních výpočtů (32bit na barevný kanál). Nevýhodou je absence nástrojů pro lokální úpravy snímků. Ty nalezneme v bezplatném multiplatformním programu DarkTable³⁹ a komerčních aplikacích pro Windows, resp. macOS jako Zoner Photo Studio⁴⁰ či Adobe Lightroom CC⁴¹. Komerční multiplatformní nástroje dostupné též pro Linux zastupuje Corel AfterShot Pro⁴².

Mezi plnohodnotnými grafickými editory s rozsáhlými možnostmi úprav obrazu lze uvést placené programy Adobe Photoshop CC⁴³, Corel Paint Shop Pro⁴⁴, z bezplatných multiplatformních nástrojů pak zejména GIMP⁴⁵ (používán v této práci).

³⁸ Dostupný online: <http://rawtherapee.com/>

³⁹ Dostupný online: <https://www.darktable.org/>

⁴⁰ Dostupný online: <https://www.zoner.cz/photo-studio>

⁴¹ Dostupný online: <https://www.adobe.com/cz/products/photoshop-lightroom/>

⁴² Dostupný online: <https://www.aftershotpro.com/en/>

⁴³ Dostupný online: <https://www.adobe.com/cz/products/photoshop.html>

⁴⁴ Dostupný online: <https://www.paintshoppro.com/en/products/paintshop-pro/standard/>

⁴⁵ Dostupný online: <https://www.gimp.org/>

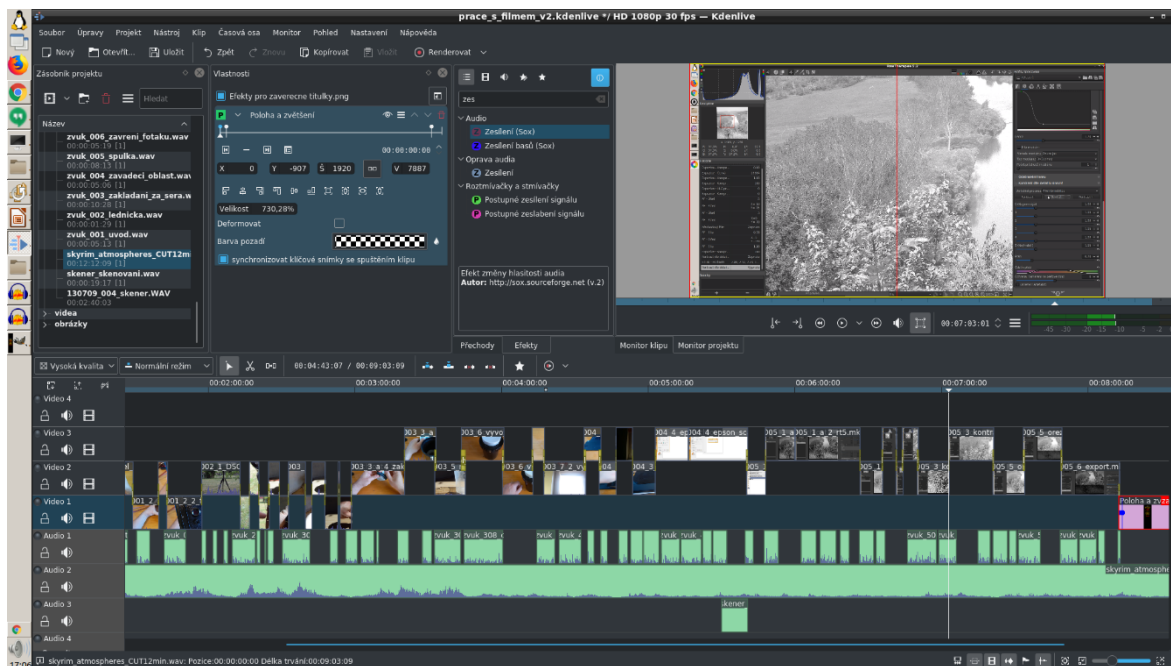
Zachytávání analogového videa

Při koupi karty či zařízení pro digitalizaci analogového videa dostane uživatel v drtivé většině případů současně také obslužný software. Ten nemusí být vždy vyhovující, protože pro záznam videa z analogových vstupů existují mnohé samostatné nástroje.

Zaznamenávat video z analogových vstupů v počítači umí například multiplatformní VLC media player⁴⁶. Podobně, byť z příkazové řádky původem linuxové nástroje Mencoder⁴⁷ a FFmpeg⁴⁸. Podporu digitalizace videa z analogových zdrojů má též Adobe Premiere Pro⁴⁹.

Střih a zpracování videa

Dodávané nástroje s digitalizačními produkty mnohdy obsahují podporu pro základní úpravy videa. Pro rychlý export do většiny obvyklých formátů je určen například jednoduchý nástroj HandBrake⁵⁰. Jeho výhodou jsou předdefinované profily pro různé typy zařízení (například Android, Playstation, Chromecast) a služeb (například YouTube).



Obrázek 18: Kdenlive v prostředí operačního systému Ubuntu Linux

⁴⁶ Dostupný online: <https://www.videolan.org/index.cs.html>

⁴⁷ Dostupný online: <http://www.mplayerhq.hu/design7/news.html>

⁴⁸ Dostupný online: <https://www.ffmpeg.org/>

⁴⁹ Popis k dispozici online: <https://helpx.adobe.com/premiere-pro/using/digitizing-analog-video.html>

⁵⁰ Dostupný online: <https://handbrake.fr/>

Pro větší možnosti úprav v podobě střihu lze doporučit například multiplatformní aplikace Avidemux⁵¹ a Kdenlive⁵², mezi placenými nástroji pak zejména Adobe Premiere Pro CC⁵³.

1.7 Uložení a archivace skenů a exportů

Metody a formy uložení digitálních obrazových dat samy o sobě už nejsou součástí procesu digitalizace analogových předloh. Je však důležité jim věnovat pozornost z důvodu potřeby digitalizovaná data archivovat pro případné budoucí potřeby dalšího zpracování, resp. uložit do podoby přístupné pro jejich projekci.

Archivace digitálních verzí děl je potřebná proto, že s ohledem na často špatný stav nadále degradujících originálních analogových záznamů (zejména filmových pásů), není jisté, že například za několik dalších desetiletí bude možné s jakkoli technologicky vyspělejším vybavením získat kvalitnější výstup z digitalizace ještě více degradovaného materiálu. I proto v posledních letech je řada filmů točených na 35mm negativ skenována a restaurována ve 4k rozlišení a některé filmové tituly natáčené na 65mm negativ jsou skenovány dokonce v 8k rozlišení – například Ben Hur⁵⁴ či Baraka⁵⁵.

1.7.1 Grafické formáty

V současné době máme pro uložení fotografií k dispozici řadu grafických formátů. Každý má své výhody a nevýhody. Principiálně si můžeme tyto formáty rozdělit na dvě základní skupiny.

První zahrnuje formáty chápané jako „tradiční“, se všeobecnou podporou – například JPEG, PNG a TIFF jsou příklady grafických formátů, které jsou podporovány prakticky ve všech nástrojích, které se běžně používají. Pro JPEG pak platí, že jeho podpora je takřka absolutní a nezdá se, že by kdy byl nahrazen jiným formátem, se kterým daný systém, služba či nástroj pracuje.

⁵¹ Dostupný online: <http://avidemux.sourceforge.net/>

⁵² Dostupný online: <https://kdenlive.org/>

⁵³ Dostupný online: <https://www.adobe.com/cz/products/premiere.html>

⁵⁴ K 50. výročí od vzniku filmu, podrobnosti dostupné online: <http://www.themortonreport.com/entertainment/video/ben-hur-celebrates-50-years-with-a-stunning-restoration/>

⁵⁵ Informace o restaurování dostupné online: <https://www.youtube.com/watch?v=7H2cDS7txKY>

Existují „nové“ formáty, jejichž podpora se rozšiřuje, mezi něž patří zejména tři formáty zavedené v IT světě: Google WebP⁵⁶, MPEG HEIF⁵⁷ a AVIF⁵⁸.

1.7.2 Video formáty a rozlišení

Rozlišení analogového záznamu

Jednotlivé analogové systémy uložení videa mají přibližné rozlišení dané počtem řádků obrazu (Silva, 2018):

- VHS/VHS-C – 220 až 240 řádků
- Betamax – 250 řádků
- 8mm film – 250 to 280 řádků
- Analogové TV vysílání (+ kabelová TV) – 330 řádků
- Video Hi8 – 380 až 440 řádků
- S-VHS/S-VHS-C – 400 řádků
- Laserdisc – 400 až 425 řádků
- Kompozitní AV vstup v TV – 450 řádků

Používané standardy komprese videa

Pro uložení digitálního videa jsou doporučovány standardizované kompresní formáty:

- MPEG-2 Part 2 (H.262) – pro maximální kompatibilitu, používají jej formáty DVD-Video i Blu-ray.
- MPEG-4 Part 10 (H.264, AVC) – formát vyvinutý primárně pro potřeby FullHD videa, je součástí specifikace formátu Blu-ray video disků.
- High Efficiency Video Coding (HEVC, H.265, MPEG-H Part 2) – formát vyvinutý primárně pro potřeby UltraHD videa od 4k rozlišení výše.

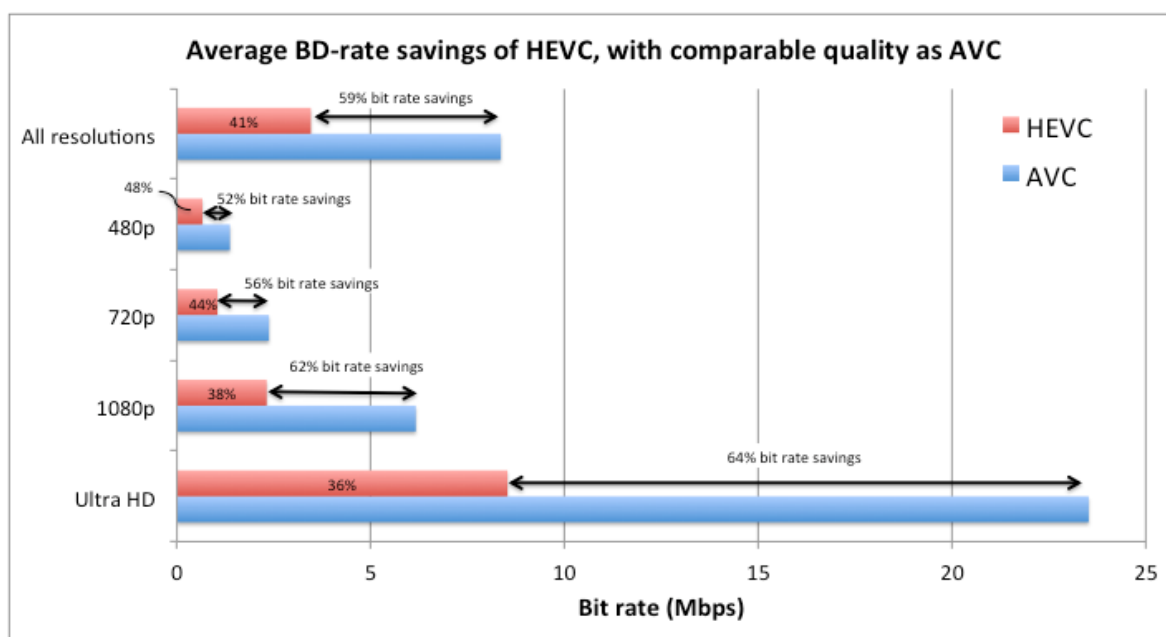
⁵⁶Open-source obrazový formát, který pro uložení dat používá kompresi pro I-frame VP8 videa. Má širokou podporu v softwaru a službách společnosti Google vč. OS Android. Podrobnosti k dispozici online: <https://developers.google.com/speed/webp/faq>

⁵⁷ High Efficiency Image File Format, uzavřený formát standardizovaný jako ISO/IEC 23008-12, z hlediska komprese jde o I-frame video formátu H.265/HEVC. Aktuálně podporován v produktech společnosti Apple, OS Microsoft Windows a Android P či multiplatformním grafickém editoru GIMP. Podrobnosti k dispozici online: <https://mpeg.chiariglione.org/standards/mpeg-h/image-file-format>

⁵⁸ AV1 Still Image File Format, otevřený obrazový formát odvozený od I-frame formátu videa AV1 (AOMedia Video 1), za kterým stojí velké množství největších firem z audio/video, IT i softwarového světa. Specifikace tohoto formátu je momentálně ve stádiu návrhu, podrobnosti k dispozici online: <https://aomediacodec.github.io/av1-avif/>

- AOMedia Video 1 (AV1) – otevřený formát zastřešený organizací Alliance for Open Media. Vyvinut jako náhrada za formáty rodiny MPEG. Má zajištěnu podporu v HTML5 videu a WebRTC.

Pro zálohu digitalizovaného filmu je vždy vhodné vybrat správný formát videa, zvuku, kontejneru a fyzického nosiče tohoto digitálního záznamu. Platí, a reálné testy (Thiow Keng Tan) to potvrzují, že pro různá rozlišení videa jsou vhodné různé typy kompresních formátů (Tang, Mrak, Barocini, Ramzan, 2014).

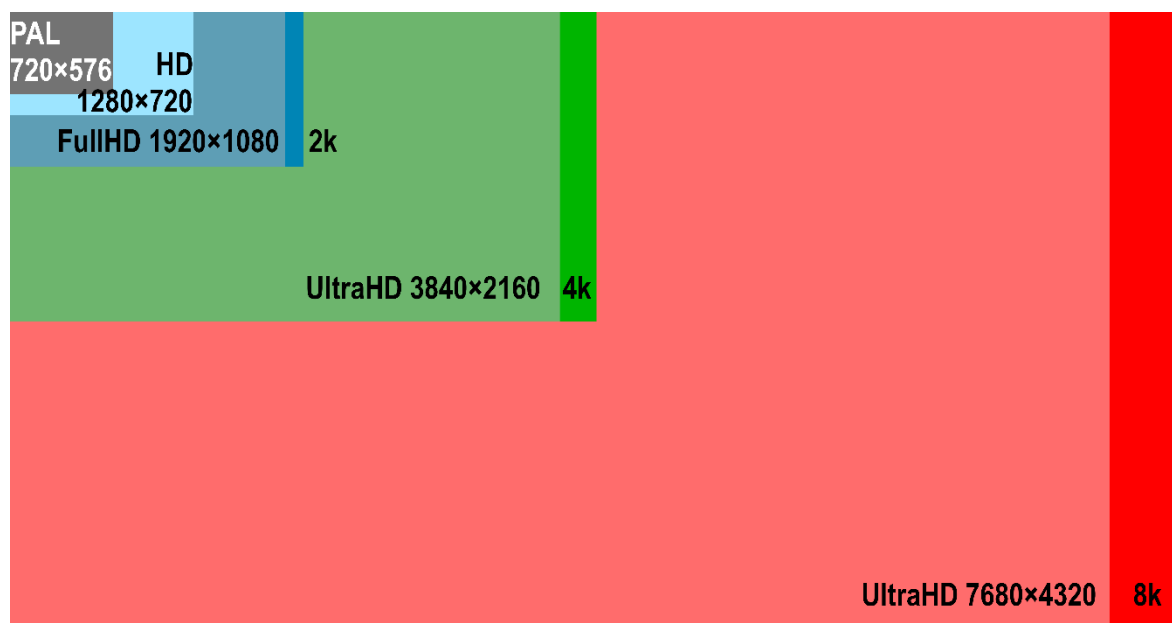


Obrázek 19: Srovnání efektivity formátu H.265 oproti H.264 pro jednotlivá rozlišení.

Zdroj: http://phenix.it-sudparis.eu/jct/doc_end_user/current_document.php?id=9089

Pro zálohu analogových magnetických pásků, kde lze předpokládat maximální rozlišení digitalizovaného videa 720×576 (případně 768×576 s následnou korekcí na 720×576) lze z hlediska kompatibility doporučit použití formátu DVD-Video, a tudíž komprese video stopy MPEG-2.

Pro záznamy v HD⁵⁹ a FullHD⁶⁰ rozlišení je vhodný formát MPEG-4 AVC (H.264), případně modernější a efektivnější HEVC (H.265).



Obrázek 20: Přehled nejpoužívanějších rozlišení videa.

1.7.3 Záloha a archivace dat

S ohledem na možnosti jednotlivých typů médií a aktuální nabídku trhu lze považovat za použitelné, resp. dosažitelné běžnému spotřebiteli následující typy systémů:

Optická média

Rozeznáváme tři hlavní generace optických médií⁶¹ (Sony, Panasonic, 2015):

1. Kompaktní disk (CD-R, CD-RW) – s kapacitou 650 MB/74 min, 700 MB/80 min až 870 MB/99 min. Dnes s ohledem na nízkou kapacitu nemá smysl tato média používat v kontextu zálohy či archivace fotografií a videí.
2. Digitální Video Disk (DVD±R, DVD±RW, DVD-RAM) s kapacitou 4,7 až 8,5 GB. V případě menšího množství zálohovaných či archivovaných dat lze považovat DVD média (bez ohledu na konkrétní variantu) za kapacitně postačující. Jde také v případě DVD-R a DVD+R o generaci, která postupem let nabídla celkem tři základní typy kvality záznamové vrstvy.

⁵⁹ HD – High Definition, obvykle záznam s vertikálním rozlišením 720 bodů, nejčastěji 1280×720

⁶⁰ FullHD – záznam s vertikálním rozlišením 1080 bodů, nejčastěji 1920×1080.

⁶¹ Nastupující technologie Archival Disc není na trhu běžně dostupná.

3. Blu-ray disk (BD-R, BD-RE, BDXL), nejprve s kapacitou 25, nebo 50 GB, včetně speciálních variant využívajících unikátní anorganickou záznamovou vrstvou (MDISC), později varianta BDXL s kapacitou 100, nebo 128 GB.

Média, na která se zapisuje modrým laserem se po brzkém konci formátu HD-DVD⁶² omezují pouze na rodinu Blu-ray. Ta zahrnuje původní generaci jednovrstvých a dvouvrstvých médií s kapacitami 25, resp. 50 GB. Ta byla po několika letech doplněna o generaci BDXL, která nabízí média třívrstvá s kapacitou 100 GB a média čtyřvrstvá s kapacitou 128 GB. Až do kapacity 100 GB jsou i na českém trhu v nabídce archivní zapisovatelná BD a BDXL média Verbatim MDISC Lifetime Archival⁶³.

Cenově lze Blu-ray vypalovačku podporující MDISC pořídit kolem dvou tisíc Kč, Blu-ray MDISC média v cenách od 30 Kč/ks za 25GB BD-R disk až po 500 Kč/ks za 100GB třívrstvý disk.

Z hlediska technologie výroby záznamové a odrazivé vrstvy optických médií, které mají klíčový vliv na životnost na nich uložených dat, rozeznáváme tři typy:

- nejlevnější technologie využívají organické záznamové a kovové odrazivé vrstvy, které obě podléhají změnám v čase. Organická záznamová vrstva má tendenci plesnivět, případně se odpařovat, pokud je vystavena slunci. Takováto média ztratí uložená data zcela už během pár dnů na přímém slunci. Také při nevhodném skladování může jejich odrazivá vrstva plesnivět či korodovat. Dle dostupných testů (The Library of Congress / The National Institute of Standards and Technology) dosahuje životnost většiny těchto běžných CD či DVD disků bez ohledu na technologii zápisu 30 a více let. Je zde ale nezanedbatelný podíl disků, které nelze přečíst už po pár letech. Jako záloha nejsou CD a DVD disky ze střednědobého a dlouhodobého hlediska dostatečně spolehlivé (Zheng et al., 2007).
- problém odrazivé vrstvy do určité míry řešila média využívající zlatou odrazivou vrstvu. Tato média však již dnes v nabídce trhu nenalezneme.

⁶² HD DVD Promotion Group byla rozpuštěna v březnu 2008, dostupné online:

<https://www.engadget.com/2008/03/28/hd-dvd-promotion-group-officially-dissolves-in-a-high-res-burst/>

⁶³ Nabízeno v baleních po 1 a 5 kusech: <https://www.verbatim-europe.cz/cz/cat/mdisc-lifetime-archival-bd-xl-100gb/>

- problém s degradací a choulostivostí odrazivé i záznamové vrstvy řeší technologie DVD (a také BD) disků s anorganickou záznamovou vrstvou, která současně slouží jako odrazivá. Vzniká technologií plasmového napařování speciálního prášku na optické disky a aktuálně je na trhu dostupná od dvou výrobců ve dvou mírně odlišných variantách.

Česká společnost Northern Star vyrábí anorganické 4,7GB DVD+R disky značky DataTresorDisc, u kterých udává životnost uchování dat (jejich čitelnost) pod dobu nejméně 160 let při dodržení podmínek provedení záznamu a uskladnění média⁶⁴. Médii přitom dle nezávislých testů nevadí ani přímé sluneční světlo, ani příliš vysoké či naopak příliš nízké teploty a jsou mechanicky celkově odolnější (Vašek, 2013). Média DataTresorDisc přitom lze vypalovat v řadě DVD mechanik, výrobce na webu udržuje jejich přehled a sám prodává kompatibilní mechaniky.

Druhým výrobcem je společnost Millenniata, která vytvořila technologii disků MDISC. U nich je udávána životnost záznamu dokonce 1000 let, nelze je však vypalovat ve standardních mechanikách ani po úpravě firmwaru, potřebný výkon laseru je vyšší⁶⁵. Na trhu jsou však DVD i BD mechaniky značek Asus, LG a Verbatim, které jsou s médii MDISC kompatibilní.

Páskové jednotky

Nabídka páskových mechanik a kazet pro běžné spotřebitele je poměrně malá a současně. Pořídit lze mechaniky typu LTO různých generací v ceně desítek tisíc Kč a následně pásy nabízející za cenu několika set Kč kapacity až jednotek TB.

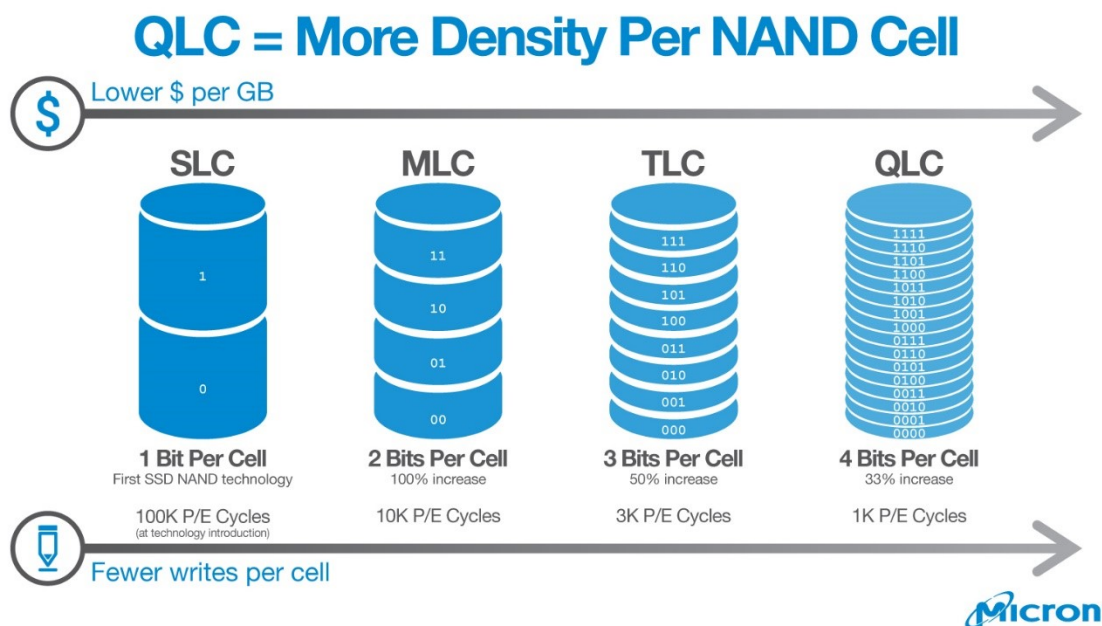
Úložiště s NAND flash čipy

Životnost dat uložených v NAND flash čipech, což je dnes převažující technologie nevolatilních pamětí, udávají výrobci zhruba v rozmezí jednotek let. Existují i speciální produkty typu SanDisk Vault, které zaručují uchování dat ve flash paměti po dobu až 100 let (Beerman, 2011), nicméně to jsou výjimečné produkty.

⁶⁴ Pravidla dostupná online: http://www.datatresordisc.eu/img/Pravidla_DTD.pdf

⁶⁵ Dostupné online: <http://www.mdisc.com/>

Většina dnes pořízených fotografií a videí je uložena v NAND flash čipech, které jsou typicky v malých přenosných přístrojích (smartphony, digitální fotoaparáty, digitální videokamery, ...) a které jsou tudíž optimalizovány ani ne tak na trvanlivost záznamu, spíše na poměr kapacita/cena. Počítá se s tím, že data jsou posléze zkopírována jinde či zálohována.



Obrázek 21: Přehled technologií NAND flash čipů a jejich obvyklé životnosti (počet P/E cyklů). Zdroj: <https://www.micron.com/products/advanced-solutions/qlc-nand>

Dnes převažující technologií NAND flash čipů je výroba vrstvených TLC die, kdy v jednom malém pouzdře NAND flash čipu dnes nalezneme 64 či 72 NAND flash vrstev⁶⁶ (a výhledově více). Každá paměťová buňka pak nese informaci o celkem 3 bitech a jejich stavu 0, nebo 1. To znamená, že při čtení dat z buňky musí být možné správně rozlišit sekvenci bitů 000 až 111, tedy správně rozlišit 8 napětových úrovní, které danou sekvenci bitů představují. Ve srovnání se staršími typy uložení dat MLC a SLC a s ohledem na postupnou degradaci NAND flash pamětí jejich používáním (omezený počet P/E cyklů⁶⁷) je toto další technologický limit v životnosti uložených dat. A na trh nyní přichází první

⁶⁶ SSD uvedena na trh v únoru 2018: <https://www.anandtech.com/show/12412/sk-hynix-announces-enterprise-ssds-featuring-72layer-3d-nand-ics-own-controllers>

⁶⁷ P/E cykly – Program/Erase, události při kterých jsou zapisována data do NAND flash paměti: <https://searchstorage.techtarget.com/definition/P-E-cycle>

NAND flash čipy a produkty na nich postavené, vyžívající QLC⁶⁸, tedy uložení 4 bitů v jedné buňce a nutnost přesně rozlišit 16 napěťových úrovní.

Největší chybou běžného uživatele tak bývá skutečnost, že se problematikou záloh dat ze svého přístroje vůbec nezabývá. Dlužno dodat, že to za něj naštěstí obvykle řeší jeho poskytovatel služeb, což například v případě přístrojů iPhone a iPad znamená společnost Apple a v případě přístrojů s OS Android firmu Google. Jejich cloudová úložiště ale nejsou kapacitně neomezená a nezalohují automaticky každou pořízenou fotografii či video.

Magnetické pevné disky, síťová úložiště NAS

Klasické pevné disky s rotujícími plotnami s magnetickým záznamem dosahují dnes kapacit až 14 TB pro 3,5palcové modely. V současnosti používané technologie pro zvýšení hustoty záznamu na plotnách zahrnují:

- vyplnění vnitřku disku heliem – umožnilo zvýšit počet diskových ploten z do té doby používaných 4 až 5 až na 9 (výrobci Western Digital, Seagate)
- SMR – shingled magnetic recording, česky „šindelový“ záznam prováděný do částečně se překrývajících stop. Disk tak musí mít dobrou představu o uložených datech, protože zápisem dané diskové stopy jsou ovlivněny i stopy okolní, které se musejí znovu přepsat. Disky jsou buď „drive managed“ (správu zápisu řídí disk sám), nebo „host managed“ (správu zápisu dat řídí operační systém – vyžaduje speciální ovladač). SMR disky nezvládají zápis velkého množství dat najednou, samy si určují prodlevy, během kterých data přeskupují dle stanovených pravidel a omezení technologie (Vašek, 2016).
- HAMR – heat assisted magnetic recording. Pro stále se zmenšující magnetické částčky na diskových plotnách by zapisovací proudy byly příliš velké a ovlivňovaly okolní stopy. Technologie HAMR používá ohřev zapisované stopy laserem, který posune magnetické částčky ve stopě nad Currieovu teplotu a lze do nich data zapsat snadněji, za pomoci nižšího výkonu zapisovací hlavičky.

⁶⁸ Dostupné online: <https://www.prnewswire.com/news-releases/toshiba-develops-worlds-first-qlc-bics-flash-3d-memory-with-4-bit-per-cell-technology-300480888.html>

U pevných disků jsou rizika hardwarového selhání z více příčin, stejně tak i softwarového selhání a stejně tak může vinou lidského faktoru dojít ke smazání dat (DataHelp). Obecně tak pevné disky lze doporučit jako zálohovací médium pro období v řádu jednotek let, nikoli jako médium archivační (desítky let či více). Platí to i pro jejich použití v diskových polích, resp. v síťových úložištích NAS.

Cloudové služby a sociální sítě

Jako poměrně spolehlivou zálohu lze využít služby velkých firem a jejich cloudových úložišť. Nejvyšší bezplatnou kapacitu 1 TB aktuálně nabízí Flickr⁶⁹. Google Drive poskytuje zdarma prostor 15 GB sdílený též s emailovou schránkou, doplatit si lze například 1 TB za 3 000 Kč ročně či až 30 TB za 9 tisíc Kč měsíčně⁷⁰. V rámci služby G Suite Business je za cenu 8 € za uživatele měsíčně k dispozici neomezený prostor⁷¹.

Microsoft poskytuje v rámci svého cloudového úložiště OneDrive více typů předplatného. Zdarma dává k dispozici 5GB prostor a nabízí placený 5TB prostor pro 5 uživatelů (1 TB každý) v rámci Office 365 Home⁷². Amazon na placené službě Drive nabízí až neomezený prostor⁷³. DropBox nabízí zdarma 2GB úložiště s možností platit si až neomezenou kapacitu⁷⁴. Úložiště Mega nabízí 15 GB zdarma a za peníze až 8TB prostor⁷⁵.

Je ale potřeba mít na paměti, že cloudové služby mohou ze dne na den skončit, byť spíše teoreticky, a stejně tak v tu chvíli předává uživatel osobní data cizí osobě / firmě.

⁶⁹ Dostupné online: <https://www.flickr.com/account/upgrade/pro>

⁷⁰ Dostupné online: <https://drive.google.com/settings/storage>

⁷¹ Dostupné online: <https://gsuite.google.cz/intl/cs/pricing.html>

⁷² Dostupné online: <https://onedrive.live.com/about/cs-CZ/plans/>

⁷³ Dostupné online: <https://www.amazon.com/drive>

⁷⁴ Dostupné online: https://www.dropbox.com/buy?_tk=plus_hero_button

⁷⁵ Dostupné online: <https://mega.nz/>

2 Návrh doporučených postupů digitalizace fotografického materiálu

Proces převodu fotografických materiálů do digitální podoby můžeme rozdělit na několik kroků. Nejprve nastává přípravná fáze spočívající ve fyzické manipulaci se zdrojovým materiálem, po ní samotný proces digitalizace (typicky skenování), kdy jsou řešeny technické náležitosti.

2.1 Přípravná fáze

Před samotným skenováním filmového materiálu je vhodné učinit několik přípravných opatření. Nejprve musíme připravit filmový pás či list tak, aby sken proběhl bez potíží v následném digitálním zpracování skenu bylo potřeba co nejméně kroků.

O 35mm kinofilmu můžeme říci, že je často skladován velmi nevyhovujícím způsobem. Typický fotolab 90. let obvykle buď negativy nastříhal po menším množství políček než šesti, nebo filmový pás pouze stočil do ruličky a vložil do krabičky od filmu. Dnes je tudíž takový film často i 25 let smotaný v ruličce, což představuje velký problém z hlediska skenu, jelikož film prohnutý leží ve skeneru mimo optimální rovinu ostrosti skenovací části, a navíc je ve většině případů výsledný sken znehodnocen tzv. Newtonovými kroužky.

Doporučení pro 35mm kinofilm, případně též pro pásy svitkového filmu, jen negativ nejprve vložit na několik týdnů až měsíců do knihy a zatížit, aby se opět vyrovnal do plochy. V žádném případě se pro tyto účely nehodí „mokrý cesta“, kdy by byl negativ nejprve rozmočen a poté lisován – zejména to platí pro běžně používané barevné negativy typu C-41, u kterých by došlo ke znehodnocení vrstvy s emulzí.

V případě listových filmů obvykle problém s kroucením materiálu není, podložka listových filmů bývá tlustší. Například společnost Foma udává pro materiál Fomapan 100 jako materiál podložky pro 35mm kinofilm triacetát celulózy o tloušťce 0,125 mm, pro svitkový film typu 120 polyesterovou podložku tloušťky 0,1 mm a pro listový film polyesterovou podložku tloušťky 0,175 mm⁷⁶. Společnost Harman Technology pro film Ilford Delta 100 udává použití 0,125 mm, resp. 0,110 mm acetátové podložky pro 35 mm, resp. svitek typu 120, listový film používá 0,180mm polyesterovou podložku.⁷⁷

⁷⁶ Dostupné online: <http://www.foma.cz/cs/fomapan-100>

⁷⁷ Dostupné online: https://www.ilfordphoto.com/amfile/file/download/file_id/1866/product_id/679/

Po příslušné době, kdy je film vyrovnán, jej lze skenovat. Před vložením do skeneru je potřeba film zbavit prachu či případných jiných nečistot, platí to úplně stejně jako kdysi v temné komoře při zvětšování políčka za pomoci zvětšovačku.

Pro skladování negativů lze jediné doporučit k tomu určené archivní sáčky, ať již vyrobené z pergamenu či acetátu.

2.2 Proces skenování

Skenování negativu je patrně nejdůležitější částí procesu digitalizace, neboť vše následné jsou již jen postupy zpracování naskenovaných dat. Bez ohledu na kvalitu a sofistikovanost matematických postupů následného zpracování je důležité, aby data vstupující do tohoto procesu byla co nejkvalitnější, nejpřesnější, nejpodrobnější.

2.2.1 Rozlišení skenu, barevná hloubka, formát uložení

Pro stanovení vhodného rozlišení skenu (tedy ani zbytečně velkého, ani příliš malého) je nutné porovnat dva klíčové parametry.

První určuje samotný film. Maximální dosažitelné rozlišení filmového materiálu – a zde musíme s ohledem na neuspořádanou povahu emulze brát použití slova rozlišení s rezervou – je dáno typem materiálu, použitou vývojkou a parametry vyvolávacího procesu (teplota, překlápění atd.). U filmových materiálů se neudává konkrétní rozlišení, a to ani v absolutní hodnotě (počet obrazových bodů), ani v relativní (dpi / ppi). Udávána je hodnota lpm (lines per mm), tedy počet rozlišitelných čar obrazu v 1 mm materiálu⁷⁸.

Mezi nejjemnější filmy (v případě optimálního vyvolání, které výrobce vždy definuje) patří materiál ADOX CMS 20 II vyvolaný ve vývojce ADOX Adotech IV. Pro tuto kombinaci výrobce udává dosažitelnost rozlišovací schopnosti až 800 čar/mm⁷⁹. V provedení 35mm filmu, tedy kinofilmového políčka 36×24 mm, je tak dle výrobce tento materiál schopen (pokud převedeme počet čar na počet bodů digitálního obrazu 1:1) poskytnout obraz o rozlišení až 28 800×19 200, tedy zaokrouhleně 552 Mpix. To je v reálné praxi zcela nedosažitelná hodnota z důvodu neexistence objektivů, které by dokázaly takové rozlišení přenést do rozměru 36×24 mm.

⁷⁸ Někdy bývá udáváno jako hodnota párů čar na milimetr – lp/mm (line pairs / mm)

⁷⁹ Dostupné online: <http://www.adox.de/Photo/adox-films-2/cms-20-ii-adotech-ii/>

Ostatně hodnota 800 čar („bodů“) na 1 milimetr odpovídá hodnotě 20 320 dpi (bodů na palec). Z měření provedených na skeneru Imacon Flextight 848 (virtuální bubnový s 8 000 ppi) s černobílým negativem Kodak T-MAX 100, barevnými negativy Kodak Portra 160VC a Kodak Ektar 100 a barevným diapozitivem Fuji Velvia 100 v porovnání s 24Mpix full-frame D-SLR Sony A900 Marco Boeringa vyvozuje, že rozlišovací schopnost filmů je na úrovni minimálně 40 párů čar na milimetr (40 lp/mm), dosahovat však může úrovní 80 lp/mm, což odpovídá rozlišovací schopnosti snímače v Sony A900 s rozlišením 6000×4000 při rozměrech 36×24 mm (Boeringa, 2009).



Obrázek 22: Srovnání detailnosti skenu s 24Mpix full-frame D-SLR Sony A900 při 800% zvětšení.

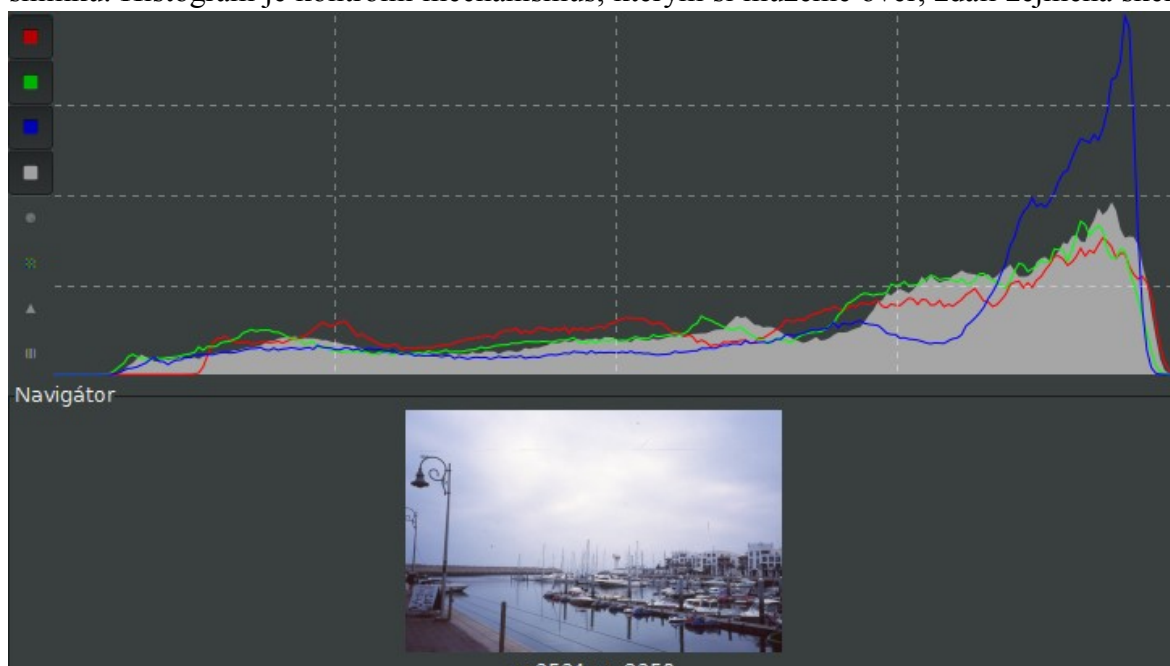
Zdroj: http://www.boeringa.demon.nl/menu_technic_ektar100_resolution.htm

2.2.2 Histogram a nastavení bílé a černé

Histogram představuje grafickou formu znázorňující rozložení dat ve sloupcovém grafu. Ve fotografii je obvykle reprezentován tak, že vlevo je absolutní černá, vpravo absolutní bílá a oblast mezi těmito hranicemi histogramu představuje reprezentaci rozložení jednotlivých úrovní jasu ve snímku. Histogram může být buď jeden společný (RGB), obvykle ale bývá zobrazován i v podobě pro jednotlivé barevné kanály systému RGB zvlášť. Černobílé fotografie samozřejmě mají jen jednu křivku histogramu (jasovou).

Jak uvádí společnost Zoner, je vžitým mýtem, že správně exponovaná fotografie má histogram rozložen do podoby rostoucího a klesajícího kopce. To ale platí pouze pro vybrané typy fotografií, existují snímky záměrně podexponované (tzv. low-key), záměrně přexponované (tzv. high-key) či jinak specifické (Gabrhel, 2017).

Pro účely digitalizace již exponované fotografie na filmu nás nezajímá expozice při pořízení snímku. Histogram je kontrolní mechanismus, kterým si můžeme ověř, zdali zejména sken



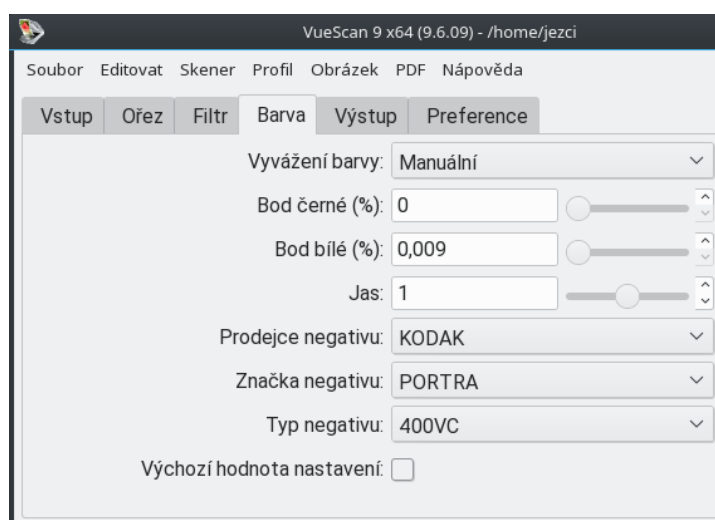
Obrázek 23: ukázka histogramu v programu RawTherapee – zobrazen je celkový jasový histogram i jednotlivé RGB složky.

negativu neprovádíme příliš tmavý či naopak příliš světlý. Zejména některé málo kryté negativy (tedy negativy podexponované či negativy už degradující) či silně přexponované (negativy hodně tmavé) budou mít histogram výrazně vyšší u jedné strany.

Ve fyzických schopnostech běžných skenerů je provedení skenu s určitou hodnotou expozice, úpravy parametrů skenu (hodnoty bílé, hodnoty černé, gradační křivky) neupravují samotný proces skenu, ale post-processing skenovaných dat ještě ve skenovací aplikaci. Otázkou pro konkrétní kombinaci skeneru – skenovacího softwaru – softwaru pro následnou úpravu skenů je, zdali je kvalitativně lepší provést tuto korekci histogramu již při skenu, nebo až následně při dalším zpracování.

2.2.3 Vyvážení bílé (barevný film)

Vyvážení bílé barvy souvisí zejména s barevnými negativy, nicméně je potřeba jej činit i pro některé černobílé negativy. Materiály Kodak BW400CN a Ilford XP2 jsou totiž sice černobílé negativy, ale určené pro standardní minilabový proces C-41 a mající tudíž stejnou barvu podložky jako barevné negativy pro tento proces. U barevných negativů procesu C-41 je barva podložky obvykle tmavě oranžová až hnědá. Jedním z hlavních úkolů obslužného softwaru skeneru je provést korektně odečet barvy podložky od naskenovaných dat. Mnohé programy včetně VueScanu mají v sobě též předpřipravené profily pro rozličné typy negativů.



Obrázek 24: Nastavení profilu skenovaného materiálu v programu VueScan.

Pozitivní materiály (inverzní filmy) jsou tohoto prosty, jelikož jsou určeny k přímé projekci, jejich podložka je sama o sobě zcela průsvitná a je jedno, zdali jde o barevný materiál zpracovaný procesem E-6 či černobílý inverzní film Fomapan R100.

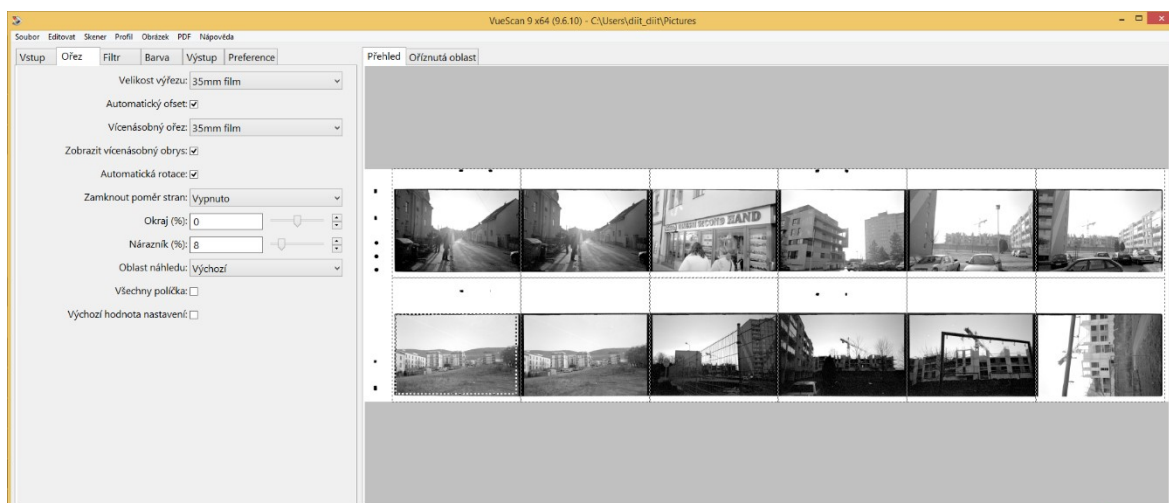
Některé klasické černobílé negativy mají i po vyvolání, ustálení a usušení určitý barevný nádech. Platí to například materiály Kodak obvykle mají podložku velmi lehce zbarvenou do fialova.

Možnosti správného vyvážení barev u barevných negativů však ve druhé polovině 90. let 20.století zkomplikoval nástup tzv. „úsporných žárovek“ do osvětlení domácností, kanceláří a dalších prostor. Tato svítidla, správně označovaná jako kompaktní zářivky, mívala obvykle jinou barevnou teplotu než klasická žárovka, pro jejíž barevnou teplotu byla vyráběna drtivá většina barevných negativních materiálů a jen naprosté minimum běžných uživatelů

používalo na fotoaparátu vhodný kompenzační filtr. Stejný problém přetrvává v menší míře dodnes, kdy zejména levné LED žárovky mají nevhodnou barevnou teplotu.

2.2.4 Ořez skenovaného políčka

Programy jako Epson Scan či VueScan umí samy rozpoznat exponovaná políčka na filmovém pásu a samy zajistit jejich ořez. Obvykle přitom však odstraní malou část samotného okraje políčka, podporují však i ruční nastavení ořezu políček při vícenásobném skenu z filmového pásu.



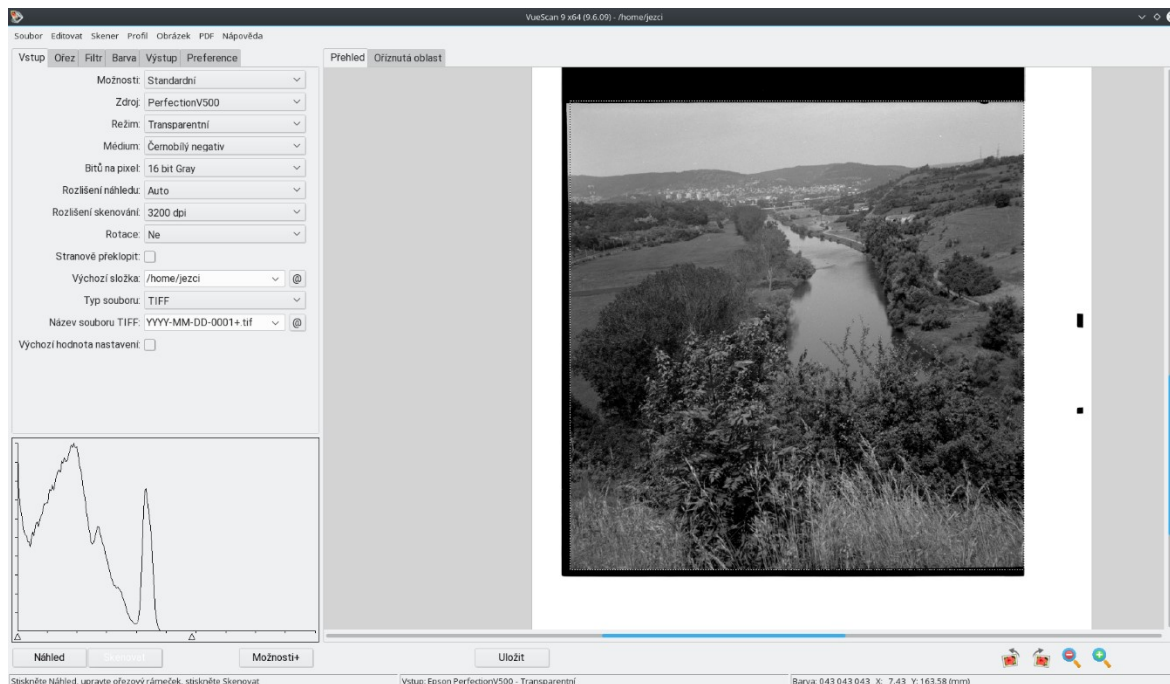
Obrázek 25: Vícenásobný sken filmového pásu ve VueScan.

Je tak pouze na vkusu uživatele, zdali při skenu nerovné oblasti krajů políček ořízne, nebo naopak „záměrně přizná“. I velcí mistři jako Josef Sudek či Edward Weston publikovali své velkoformátové fotografie na skleněných deskách i plastové podložce včetně okrajů samotného listu či desky negativu.

2.3 Ukázkové příklady skenu filmu

U většiny fotografií na filmovém materiálu bez známky degradace je proces digitalizace bezproblémový a rychlý. Ukážeme si nyní několik případů, kdy je nějaký zásah vhodný či dokonce potřebný.

2.3.1 Dobře exponovaný černobílý negativ



Obrázek 26: Sken svitkového filmu v programu VueScan

Svitkový film Fomapan 100 nafocený přístrojem Flexaret IIa v roce 2015 je dobře krytý, tedy dobře exponovaný i vyvolaný. Skenování je bezproblémové, jediným nedostatkem negativu je nižší ostrost daná použitým přístrojem z roku 1959 s čtyřčočkovým objektivem Mirar II 80mm f/3.5 vyráběným společností Meopta⁸⁰.

Tu lze kompenzovat přenesením 16bit TIFF skenu s automatickým nastavením programu VueScan do dalšího nástroje. Například program Rawtherapee disponuje nástrojem Kontrast dle detailu úrovní. Nalezneme vhodnou míru zvýšení kontrastu pro dané úrovně detailů (od nejjemnějších po největší). Je potřeba pouze hlídat, aby zvýšení kontrastu nevedlo zejména k přepalům ve světlých částech snímku (k tomuto účelu jsou programy vybaveny nástroji pro zvýraznění přepalů, resp. podpalů, v Rawtherapee je o nástroj „Zvýraznit oříznutá světla“). Pro tyto účely typické programy pro zpracování digitálních fotografií ve formátu RAW umožňují zobrazit obraz dvakrát, aby bylo možné přímo porovnávat provedené úpravy s originálním snímkem.

⁸⁰ Podrobněji popsáno v materiálu Konstrukce a vývoj zrcadlovky Flexaret. Dostupné online: http://cevela.eu/static/downloads/Konstrukce_a_vyvoj_zrcadlovky_Flexaret.pdf



Obrázek 27: Úprava kontrastu fotografie v RawTherapee.

Použity byly tyto úpravy:

- Kontrast dle detailů úrovní: 5× stisknuto „Kontrast +“ (úrovně odstupňovány 2,50 – 2,25 – 2,00 – 1,75 – 1,50 – 1,25)
- Komprese světél: 30; Práh: 0

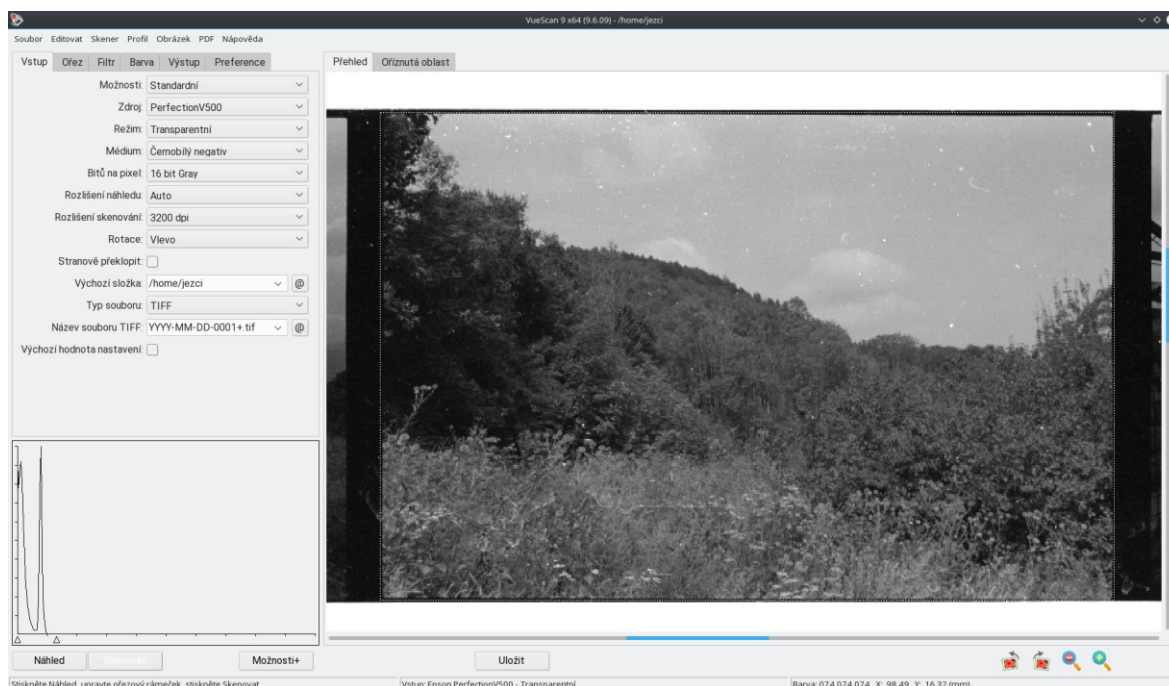
Kompresa světél byla v mírné hodnotě vhodná kvůli jinak se objevivším přepalům na vzdálených budovách.

2.3.2 Silně podexponovaný černobílý negativ



Obrázek 28: Náhled skenovaného políčka filmu Ilford Pan F Plus 50

Kinofilm Ilford Pan F Plus 50 nafocený roku 2014 měl chybně stanovenou expozici. Jde o typ fotografického materiálu, u kterého lze provést jen minimální kompenzaci v procesu vyvolávání (push process) – film není dostatečně expozičně pružný.



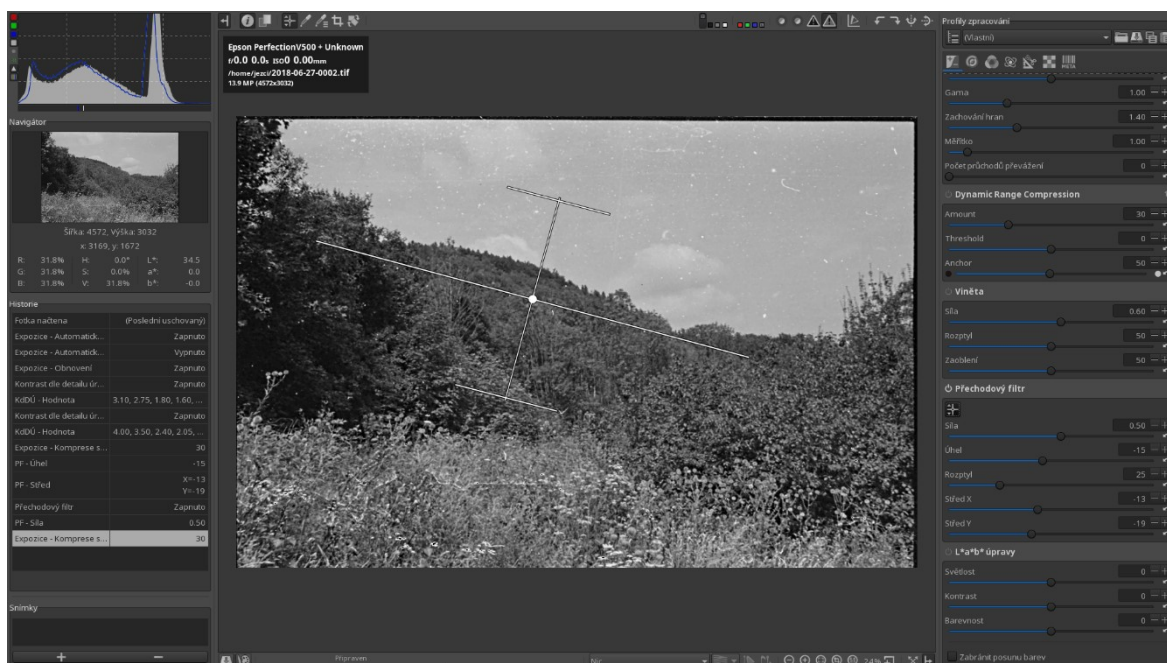
Obrázek 29: Sken filmu Pan F Plus 50 ve VueScan s úpravou hodnoty Bod bílé (histogram).

Náhled před skenováním ukazuje histogram velmi posunutý k levé straně. U negativu toto znamená, že je podexponovaný, materiál není téměř krytý a pozitivní obraz by pak byl velmi tmavý.

Posunutím pravého trojúhelníčku v histogramu na úroveň nejvyšší hodnoty signálu dosáhneme vizuálního nastavení hodnoty „Bod bílé“ na vhodnou úroveň – jde však už o post-processing dat získaných skenem, který v principu lze provést i v následných nástrojích.

Další zpracování již probíhá v editačním nástroji Rawtherapee, kde provedeme následující úpravy:

- zvýšení Kontrastu dle detailů úrovní odstupňované dle následujícího obrázku – tím zajistíme „doostření“ fotografie více pro jemné detaily (které snímku schází více), méně pro větší celky
- použití přechodového filtru s kompenzací -0,5 EV pro oblohu – pokud bychom oblohu kompenzovali změnou Komprese světla, celá fotografie by se expozičně zploštila.



Obrázek 30: Následná úprava skenu v RawTherapee.

V další fázi je vhodné eliminovat škrábance, tečky a fleky na negativu (pokud tyto nechceme zachovat jakožto součást starého vzhledu fotografie). Rawtherapee nedisponuje vhodným nástrojem, proto upravený TIFF přeneseme do programu GIMP.

Nejhrubší metodou opravy vad je použití klonovacího razítka. Jiné nástroje (například Adobe Photoshop či Zoner Photo Studio) disponují schopností automatizovaného odstraňování vad tohoto typu („spot removal“). GIMP vedle klonovacího razítka obsahuje též nástroj Léčení (Heal)⁸¹, který tvůrci GIMPu popisují jako „chytrý klonovací nástroj na steroidech“.

Uvedeným postupem lze i z velmi málo krytého negativu (špatná expozice, špatná vývojka) získat dobře použitelnou fotografii. Nevýhodou je časová náročnost procesu, zejména v oblasti oprav škrábanců a teček v emulzi.

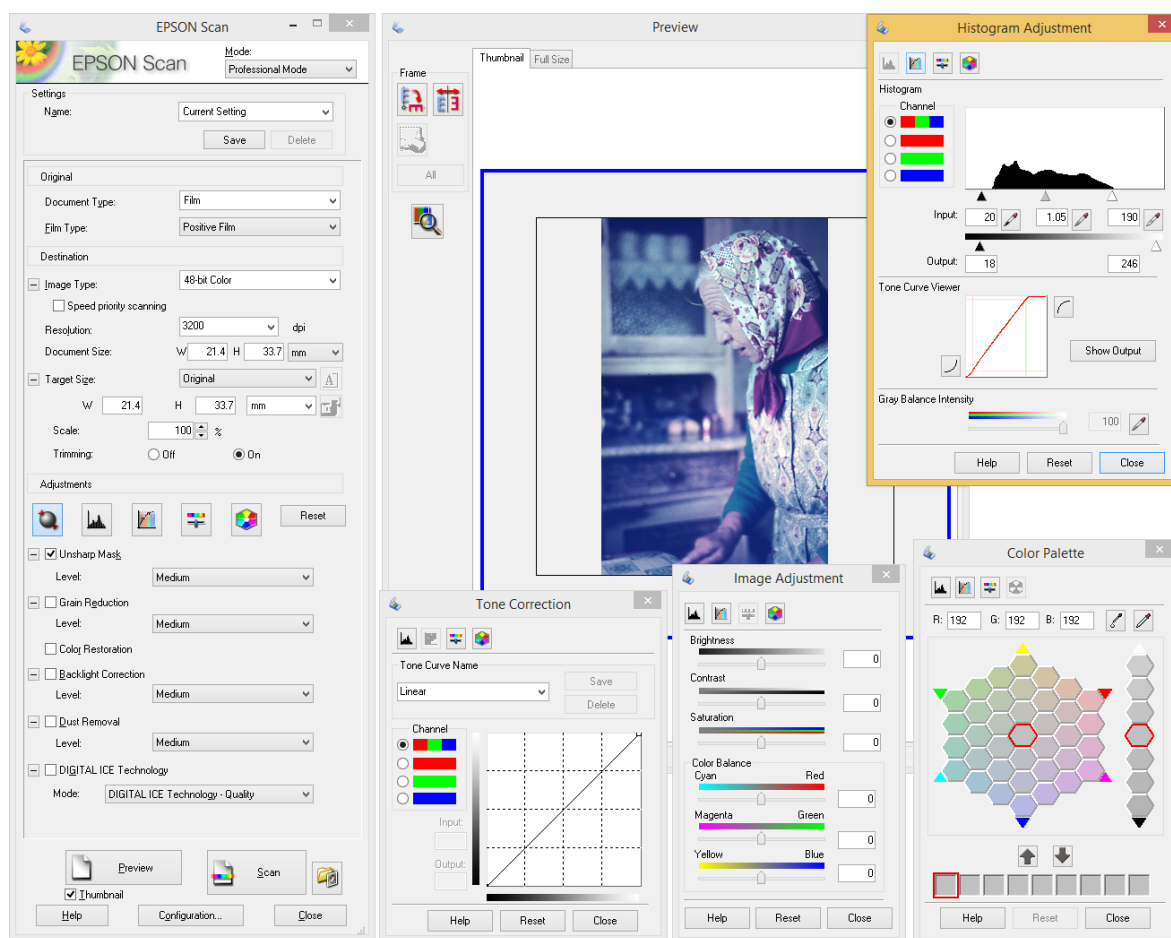
2.3.3 Neznámý degradující diapozitiv

U tohoto diapozitivu z roku 1976 nelze určit ani výrobce a konkrétní typ, ani fotochemický proces, kterým byl zpracován (což by mohlo napovědět, kterým směrem se ubírat nejen

⁸¹ Léčení využívá algoritmu, který roku 2005 popsal Todor Georgiev. Jde o nástroj, který klonuje na poškozené místo snímku strukturu z místa nepoškozeného, ale upravuje ji do podoby, aby ladila s okolím poškozeného místa. Dostupné online: <http://www.tgeorgiev.net/Invariant.pdf>

v digitalizaci, ale zejména v další archivaci). Pouze ze sekvence vyšších čísel v perforaci filmu, kterou historicky používá česká Foma, lze usuzovat na diapozitiv této značky, bez bližšího upřesnění.

Kvůli snížení rizika vzniku Newtonových kroužků je vhodné diapozitivы, které jsou umístěny mezi dvěma krycími sklíčky z rámečku vyjmout). Pokud však je diapozitiv nějakým způsobem přilnutý ke sklíčkům (v průběhu let či desetiletí se to stává), doporučuje metodika Národního technického muzea v žádném případě políčko od sklíček neoddělovat. Mohlo by dojít k odtržení filmové vrstvy z podložky na sklo (Bezděk et al., 2016).



Obrázek 31: Možnosti úprav skenu v programu Epson Scan.

Diapozitiv byl v době skenu starý zhruba 32 let. Vykazuje barevný posuv směrem k chladnějším odstínům. Sken byl proveden se standardním nastavením s cílem provést v post-processingu dvě klíčové opravy: korekci barevného posuvu a odstranění škrábanců nástrojem Léčení.



Obrázek 32: Vlevo originální sken, uprostřed ruční úprava v RawTherapee , vpravo automatické vyvážení bílé v GIMPu.

Bylo by sice možno snímek dále doostřit, ale toto by pouze vedlo ke zvýraznění zrna a zejména vrásek ve tváři, což je nežádoucí.

2.4 Ukázkové příklady skenu papírových fotografií

Pokud bychom přistoupili na tvrzení, že například typický filmový negativ pořízený středoformátovým fotoaparátem (například Flexaret, tedy políčko reálné velikosti přibližně 56×56 mm) nabízí detailnost na úrovni několika desítek megapixelů, pak jeho kontaktní kopie na fotografický papír pořízená před několika desítkami let nejen takovými detaily nedisponuje, ale obvykle byla provedena rychle a tedy nedošlo k přenosu celého jasového rozsahu scény (všech polotónů) z negativu na papír beze ztráty.

Přesto však má smysl digitalizace papírových fotografií, ať již kontaktních kopií, nebo zvětšenin. Často jsou totiž kontakty či papírové fotografie jediným, co zbylo, neboť v mnoha rodinách se negativy vyhazovaly jako nepotřebné. Na několika příkladech si ukážeme možnosti korekcí fotografií a jejich přenosu na větší formát papíru v současném digitálním labu.

2.4.1 Kolorizace kontaktní kopie svítkového filmu



Obrázek 33: Neznámý materiál, Poděbrady 1951 (vlevo originální fotografie, vpravo upravená kolorizovaná verze)

Fotografie z roku 1951 v přesných rozměrech 51×53 mm znázorněná na snímku nevykazuje žádné zásadní vady v expozici z negativu na papír, nikde není příliš mnoho přepalů (kromě děvčátka). Kromě stranového převrácení snímku⁸² jsou provedeny následující úpravy:

- Korekce expozice +1,00 v RawTherapee, kvůli tmavším částem snímku
- Doostření (metoda RL Dekonvoluce⁸³)
- Oprava vad v obrazu (GIMP, nástroj Léčení)

Tato fotografie je současně vhodná pro demonstraci možností automatické kolorizace fotografií za pomoci strojově naučené neuronové sítě.

⁸² Nápis „Poděbrady“ je na fotografii zrcadlově obrácen, kontakt byl tedy před lety proveden s obráceným negativem.

⁸³ RL dekonvoluce (celým angl. názvem Richardson–Lucy deconvolution) je algoritmus sloužící ke kompenzaci neostřeho obrazu v důsledku rozptylové funkce. Obvykle se nechává běžet v mnoha iteracích (v práci je dále ilustrováno použití 49 iterací).

Existuje řada projektů zabývajících se automatickou kolorizací fotografií. Typicky jsou budovány na bázi nějaké neuronové sítě a procesů strojové učení, na univerzitách či ve velkých korporacích jako Adobe či Google. Jedním z projektů, který je v automatické kolorizaci snímků nyní nejdále a současně je k dispozici k bezplatnému užití, je projekt velkého mezinárodního týmu⁸⁴. K dispozici je jak projekt plně automatické kolorizace (Zhang, Isola, Efros, 2016) hostovaný na webu Algorithmia⁸⁵ (využívá jej ukázka zpracování výše uvedené této fotografie), tak následný projekt uživatelsky řízené kolorizace (Real-Time User-Guided Image Colorization with Learned Deep Priors) z roku 2017⁸⁶.

2.4.2 Expozičně velmi nekvalitní kontaktní kopie svítkového filmu



Obrázek 34: Poděbrady 1952, neznámý typ materiálu (vlevo originál, vpravo úprava po skenu)

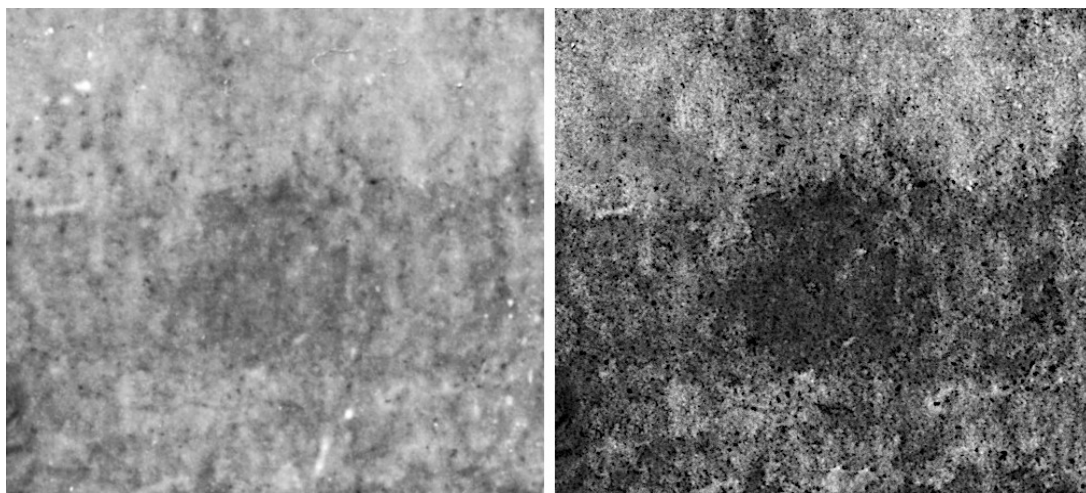
Fotografie byla pořízena v březnu 1952. Nelze to sice s jistotou tvrdit, ale kvalita, zejména expoziční plochost kontaktu naznačuje, že film byl chybně nafocen (silně podexponován), případně chybně vyvolán (vyčerpaná vývojka). Též může být minoritně na vině použití

⁸⁴ Členy týmu jsou například, Richard Zhang ze společnosti Adobe (dříve Ph.D. student na UC Berkeley), Jun-Yan-Zhu z MIT, Xinyang Geng z AI týmu společnosti Google či Alexei Efros, profesor na UC Berkeley.

⁸⁵ Dostupné online: <https://demos.algorithmia.com/colorize-photos/>

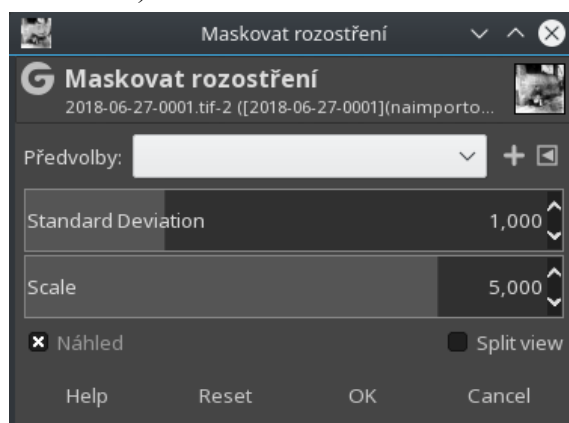
⁸⁶ Real-Time User-Guided Image Colorization with Learned Deep Priors, dostupné online: <https://richzhang.github.io/ideepcolor/>

fotografického papíru s měkkou gradací (bohužel nelze zpětně získat informace o dostupnosti či nedostupnosti konkrétních typů vývojek či fotografických papírů různých gradací v lokalitě Poděbrad a okolí počátku 50. let 20. století a konkrétní použité kombinaci).



Obrázek 36: Srovnání části snímku před a po úpravách, zejména použití nástroje Léčení.

Fotografie byla oskenována a následně v RawTherapee provedeny operace zvýšení kontrastu, doladění nastavení pro tmavé a světlé části (technicky vzato tedy „roztažení histogramu“, nicméně Rawtherapee provádí všechny operace s interní přesností 32bit na barevný kanál, tedy 96bit celkově) a mírné doostření.



Obrázek 35: nastavení nástroje Maskování rozostření v programu GIMP

Jelikož Rawtherapee nedisponuje nástrojem pro lokální úpravy odstraňující škrábance či tečky na fotografii, je potřeba ji přenést do GIMPU a zde doopravit. Můžeme tak dodatečně srovnat linie, oříznout přebytečné části skenu, případně ještě doladit kontrastnost snímku.

Následně použijeme nástroj Léčení (Heal) a snímek doostříme použitím nového typu nástroje Maskování rozostření⁸⁷.

Stejně jako v případě materiálu Ilford, i zde je nevýhodou časová náročnost celého procesu.

2.4.3 Vybledlá barevná fotografie



Obrázek 37: Vídeň 1969, Kodak Instamatic (vlevo originální fotografie, vpravo sken po úpravách v GIMP a RawTherapee)

Čtvercová fotografie o velikosti 79×79 mm, jejímž základem byl barevný negativ formátu filmu 126 pořízený přístrojem Kodak Instamatic 104 v reálné velikosti negativu 28×28 mm. Film byl z Československa odeslán k vyvolání a pořízení zvětšenin do laboratoře Kodak v SRN.

Provedené operace po skenu v rozlišení 600 dpi tentokrát zahrnuly následující úkony v RawTherapee 5.4:

- Kompenzace expozice: +1,00
- Černá: -4444 (zesvětlení)
- Kompresi stínů: 26

⁸⁷ V GIMPU přítomen od aktuální nejnovější verze 2.10.

- Přechodový filtr: 1,60, rozptyl 65 (navrácena kresba oblohy)
- Doostření: RL Dekonvoluce, Poloměr 2,00, Míra 75
- Vyvážení bílé: Vlastí 6200
- Ořez na čtvercový formát

Bohužel stav fotografie je takový, že významná část červené a žluté části je pryč a vyvážení bílé, které by ladilo jak s postavami, tak vegetací a oblohou je obtížné. Přesto lze provést korekce, které vzhled fotografie zlepší.

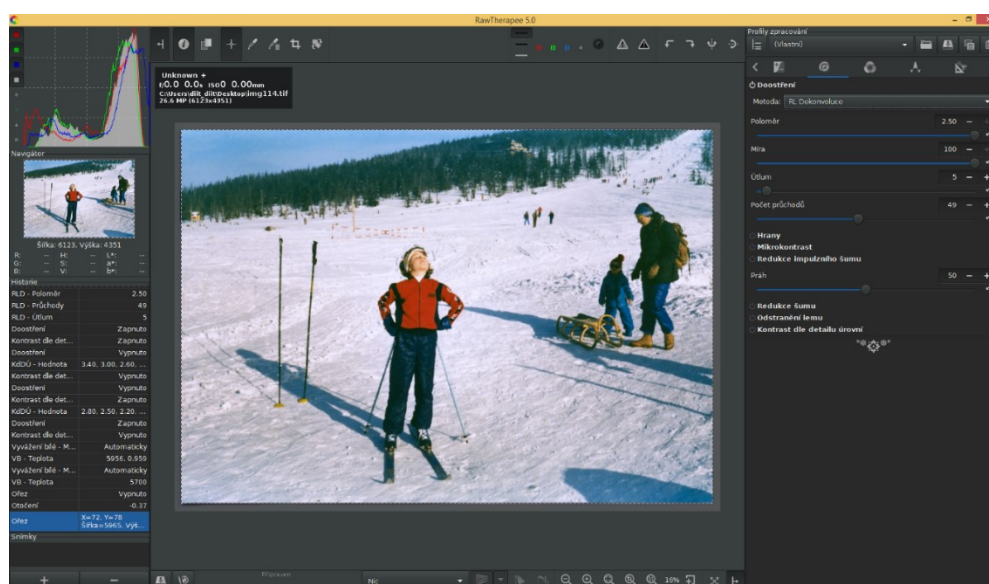
2.4.4 Fotografie s barevným posuvem na papíru Agfa



Obrázek 38: Porovnání zdrojové fotografie a upraveného tisku

Ukázka reprezentuje nejčastější typ barevných fotografií v českých domácnostech z přelomu 80. a 90. let minulého století. Originální papírová fotografie vznikala v analogovém minilabu v roce 1988 z barevného negativu zpracovaného procesem C-41 a zvětšením do rozměru velikosti 9×13 cm. Po 30 letech trpí nízkým kontrastem, posunutými barvami (zde směrem k zelené) a kvůli tehdejším technologickým možnostem také nižším množstvím detailů.

Proces úpravy po skenu spočíval ve zvýšení kontrastu, úpravy vyvážení bílé a doostření. Výsledná fotografie byla vytištěna na papír Fujicolor Crystal Archive velikosti 10×15 cm technikou laserového osvitu s 640 dpi ve stroji Noritsu Koki. Množství detailů s ohledem na nižší kvalitu zdrojové fotografie v tomto případě nešlo zvýšit, pouze simulovat doostřením.



Obrázek 40: Ukázka zpracování skenu v RawTherapee

Na srovnání si můžeme ukázat rozdíly v možnostech některých nových nástrojů. RL Dekonvoluce jako metoda doostření není přítomna automaticky ve všech programech, typicky spíše vidáme „Maskování rozostření“.



Obrázek 39: Porovnání automatického nastavení v Epson Scan (nahore) a ručního skenu s následnými ručními úpravami v RawTherapee (dole).

Porovnání ukazuje dva výřezy ze skenované fotografie v rozlišení 1200 dpi, které byly zvětšeny na 250 %. V levé části je výstup ze skenovacího programu Epson Scan

s automatickými korekcemi, vpravo pak výstup z Epson Scan bez automatických korekcí, následně však upravený v RawTherapee.

Automatické korekce v Epson Scan zahrnovaly Maskování rozostření o střední síle a automatickou korekci barev. Ač porovnání může působit jakkoli, lze říci, že vyvážení bílé v podání Epson Scan není vysloveně špatné (provedená korekce původního snímku je velmi dobrá), algoritmus pro maskování rozostření ale téměř nic nezvládl. Naopak automatické korekce až příliš nepřírozeně zvýraznily červenou bundu mladé lyžařky a kresba ve sněhu také utrpěla.

Úpravy v RawTherapee zahrnovaly tyto body:

- Kontrast +20
- Doostření RL Dekonvoluce (Poloměr 2,50, Míra 100 (maximum), Útlum 5, Průchodů 49, Vyvážení bílé 5700 + posuv k purpurové na 0,947)

Touto rychlou úpravou vznikl snímek, kterému při bližším průzkumu můžeme vytknout jednu věc: velká míra doostření zviditelnila vlastnost původní emulze/zvětšeniny z roku 1988, jíž bychom optikou dnešní doby mohli považovat za „jasový šum“. Při tisku do formátu 10×15 cm jsou ale tyto jemné nuance neviditelné.

Kladů je naopak více: fotografie je expozičně upravena se zachováním kresby ve sněhu, bunda děvčete tolik „nekřičí“ a jak ilustruje zejména výřez lyžařů v dálce, snímek působí nesrovnatelně detailněji.

Při takovéto velké míře doostření je ale potřeba o to více opravovat škrábance a tečky ve fotografii, ať již papírové, nebo skenu negativu / diapositivu.

Závěr

První část práce předkládá komplexní přehled aspektů problematiky digitalizace obrazových médií, speciálně pak v oblasti fotografie. Vysvětluje principy vybraných analogových záznamových médií s důrazem na archivaci filmových materiálů. Objasňuje principy digitalizačního procesu možnosti dostupného technického vybavení, výhody a omezení jednotlivých typů.

Prezentované doporučené postupy pro digitalizaci, možnosti digitálních úprav obrazu a možnosti současné automatické kolorizace černobílých fotografií ukazují, že čím kvalitnější je analogový zdroj, tím jednodušší a rychlejší bude proces digitalizace a případného následného restaurování.

S ohledem na nestálou povahu analogových médií a jejich postupnou degradaci není vhodné s digitalizací otálet. Nejčastější problémy, se kterými se lze potkat, plynou právě z dlouhého časového odstupu od pořízení analogového záznamu, přes jeho často nedostatečně kvalitní uskladnění až po nevhodnou manipulaci před vlastní digitalizací.

Nejčastější potřebné úpravy u filmového materiálu spočívají v kompenzaci mizejícího obrazu, což u barevných materiálů téměř vždy znamená nutnost řešit posuv barev. U papírových fotografií je nutné nejčastěji řešit opět barevný posuv, ale také různá fyzická poškození, neboť papírové fotografie jsou spíše používány, zatímco filmové negativy obvykle leží někde uskladněny.

Práce dále obsahuje přehled dostupných technologií pro zálohu a archivaci digitálních dat, jejich výhody a omezení. Zde je jejím přínosem doporučení optických disků s anorganickou záznamovou vrstvou.

Budoucnost digitalizace hlediskem filmového průmyslu je jistá. Zatímco za éry filmů na DVD-Video discích se často digitalizovalo v rychlosti z pásků Betacam určených pro TV vysílání, pro nosiče Blu-ray a UHD Blu-ray a také streamovací služby stále častěji požadující kvalitu 4k HDR už je potřeba sáhnout ke zdroji. V posledních 10 letech tak stále pokračuje proces nikoli prosté digitalizace a restaurování filmů přímo z originálních negativů do UtraHD rozlišení.

Řada algoritmů pro vylepšení obrazu se přitom pozvolna dostává i do nástrojů dostupných běžnému uživateli (často bezplatných), díky čemuž jsme dnes schopni získat finální verzi fotografie z 15 let starého skenu ve výrazně vyšší kvalitě, než tomu bylo v minulosti.

Dojde však jednoho dne digitalizace ke svému konci, kdy bude veškerý analogový materiál dostupný v konečné digitální podobě a nebude již jej potřeba pro budoucí digitalizaci? Spíše nikoli, neboť i kdyby jednoho dne byly například všechny filmové pásy světa zdigitalizovány ve 4k rozlišení, bude možné přistoupit k digitalizaci do rozlišení 8k. A po nějaké době do 16k.

Seznam použitých informačních zdrojů

1. AINSWORTH, Julie, Justyna BADACH, Chad S. BAKER, et al. DIGITAL TRANSITIONS. Digitization Program Planning: A Comprehensive & Practical Overview of Cultural Heritage Digitization [online]. New York, USA, 2015, 10.8.2015, 51 s. [cit. 2018-07-12]. Dostupné z: <https://dtdch.com/ImagingFortheFuture-DigitizationProgramPlanning.pdf>
2. BABOR, Josef. 20 let svobodných médií : Technický pokrok televizního vysílání. RadioTV [online]. 16.11.2009 [cit. 2018-07-13]. Dostupné z: http://www.radiotv.cz/p_tv/t_obecne/20-let-svobodnych-medii-technicky-pokrok-televizniho-vysilani/
3. BATISTOVÁ, Anna. Prezervace filmu a audiovizuální archivy [online]. 2.10.2007 [cit. 2018-07-12]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/el/1421/podzim2007/FAV124/um/001.pdf>
4. BECKER, Jürgen. Nikon ES-2 Film Digitizing Adapter review [online]. 13.5.2018 [cit. 2018-07-13]. Dostupné z: http://www.throughthefmount.com/articles_rev_es-2.html
5. BEERMANN, Tom. Sandisk Memory Vault Preserves Photos For Up To 100 Years. In: SanDisk Corporation [online]. Milpitas, Calif., 14.9.2011 [cit. 2018-07-13]. Dostupné z: <https://www.sandisk.com/about/media-center/press-releases/2011/2011-09-14-sandisk-memory-vault-preserves-photos-for-up-to-100-years>
6. BENNETT, Carl. Presumed Lost. Silent Era [online]. 28.5.2018 [cit. 2018-07-12]. Dostupné z: <http://www.silentera.com/lost/index.html>
7. BEZDĚK, Ladislav. K otázkám tzv. efektivního rozlišení a verifikace barevnosti v procesu digitalizace. In: Zprávy památkové péče. Praha: Národní památkový ústav, 2016. ISSN 1210-5538. Dostupné také z: <http://zpp.npu.cz/prilohy/85.pdf>
8. BEZDĚK, Ladislav, Štěpánka BORÝSKOVÁ, Tereza CIKRYTOVÁ, Jan HOZÁK, Monika HOCKOVÁ, Ivana KOPECKÁ, Petra MEDŘÍKOVÁ a Petra VÁVROVÁ, ŠTANZEL, Tomáš, ed. Preventivní péče, uložení, instalace a ochrana historického fotografického materiálu v různých typech paměťových institucí. Praha: Národní

- technické muzeum, 2016, 142 s. ISBN 978-80-7480-XXX-X. Dostupné také z: <http://www.ntm.cz/data/sprava-sbirek/Metodiky/Metodika%205.pdf>
9. BOERINGA, Marco. Kodak Ektar 100 color negative film test [online]. 15.1.2009, , 17 [cit. 2018-07-13]. Dostupné z: http://www.boeringa.demon.nl/menu_technic_ektar100.htm
 10. BROMWICH, Jonah Engel. The Long, Final Goodbye of the VCR. The New York Times [online]. 21.7.2016 [cit. 2018-07-12]. ISSN 0362-4331. Dostupné z: <https://www.nytimes.com/2016/07/22/technology/the-long-final-goodbye-of-the-vcr.html>
 11. BUTLER, Richard. Olympus OM-D E-M5 II Review: High Res Photo Mode. Digital Photography Review [online]. 18.3.2015, , 4 [cit. 2018-07-13]. Dostupné z: <https://www.dpreview.com/reviews/olympus-om-d-e-m5-ii/4>
 12. DATAHELP. Typy poškození dat [online]. DataHelp [cit. 2018-07-13]. Dostupné z: <https://www.datahelp.cz/zachrana-dat/typy-poskozeni-dat/>
 13. Fujifilm announce SuperCCD SR. Digital Photography Review [online]. 21.1.2003 [cit. 2018-07-13]. Dostupné z: <https://www.dpreview.com/articles/6851251325/fujisuperccdsr>
 14. Fujifilm introduces F200EXR with Super CCD EXR. Digital PhotographyReview [online]. 4.2.2009 [cit. 2018-07-13]. Dostupné z: <https://www.dpreview.com/articles/4923997750/fujifilmfinepixf200exr>
 15. Fujifilm X-Trans sensor technology. FUJIFILM Corporation [online]. UK, 9.1.2012 [cit. 2018-07-13]. Dostupné z: <https://www.fujifilm.eu/uk/products/digital-cameras/model/x-pro1/features-4483/aps-c-16m-x-trans-cmos>
 16. Digitization Program Planning. DIGITAL TRANSITIONS DIVISION OF CULTURAL HERITAGE. Digital Transitions Division of Cultural Heritage [online]. [cit. 2018-07-12]. Dostupné z: <https://dtdch.com/digitization-program-planning/types-of-digitization/>
 17. FILM, Ferrania. 100 More Years of Analog Film. Kickstarter [online]. 30.9.2014 [cit. 2018-07-12]. Dostupné z: <https://www.kickstarter.com/projects/filmferrania/100-more-years-of-analog-film>

18. FILM, Ferrania. FILM Ferrania introduces FERRANIA P30 ® Black & White 35mm Film [online]. Cairo Montenotte, Itálie, 1.2.2017 [cit. 2018-07-12]. Dostupné z: <http://www.filmferrania.it/s/P30AlphaPR-ENG.pdf>
19. GABRHEL, Josef. Jak číst v histogramu. Milujeme fotografii [online]. 30.5.2017 [cit. 2018-07-13]. Dostupné z: <https://www.milujemefotografii.cz/jak-cist-v-histogramu>
20. GEOFF, Alexander. Start Your Own Cinema [online]. ACADEMIC FILM ARCHIVE OF NORTH AMERICA. 17.11.2001 [cit. 2018-07-12]. Dostupné z: <http://www.afana.org/preservation.htm>
21. GILMAN, Michell, Melissa PRICE a Alex GARCIA-PUNTAM. Vinegar syndrome. AIC Wiki: A Collaborative Knowledge Resource [online]. 17.5.2014 [cit. 2018-07-12]. Dostupné z: http://www.conservation-wiki.com/wiki/Vinegar_syndrome
22. HARMAN, Technology. ULF, Custom & Specialist Film Manufacture 2017. Ilford Photo [online]. 5.4.2017 [cit. 2018-07-12]. Dostupné z: <https://www.ilfordphoto.com/ulf-2017/>
23. HARRIS, Paul. Library of Congress: 75% of Silent Films Lost. VARIETY MEDIA, LLC. Variety [online]. 4.12.2013 [cit. 2018-07-12]. ISSN 0042-2738. Dostupné z: <https://variety.com/2013/film/news/library-of-congress-only-14-of-u-s-silent-films-survive-1200915020/>
24. JEŽEK, David. Hollywood bije na poplach, jinak za chvíli nebude na co točit filmy. Deep in IT [online]. CDR Server, 13.8.2014 [cit. 2018-07-12]. ISSN 1213-2225. Dostupné z: <https://diit.cz/blog/hollywood-bije-na-poplach-jinak-za-chvili-nebude-na-co-tocit-filmy>
25. KAMARÁD, Ladislav. Skener Nikon LS 9000 – Postupná ztráta ostrosti během skenování [online]. 23.9.2004 [cit. 2018-07-13]. Dostupné z: <http://www.horolezec.cz/blog-foto/skener-nikon-ls-9000-postupna-ztrata-ostrosti-behem-skenovani>
26. KEATINGE, Richard. Causes and Measurement of Videotape Decay [online]. Broadway Video Digital Media, 8.6.2009, , 10 [cit. 2018-07-13]. Dostupné z: <http://sportsvideo.org/main/files/2010/08/video-tape-white-paper.pdf>

27. KISIL, Aleš a Jaroslav ETLÍK. Lapidárium: Příběh Sudkovy kamery [televizní pořad]. In: ČESKÁ TELEVIZE. 1996 [cit. 2018-07-12]. Dostupné z: <http://www.ceskatelevize.cz/porady/880055-lapidarium/29632424176-pribeh-sudkovy-kamery/>
28. LEE, Albert. The Light L16—brilliant and braindead. Photography Secrets [online]. 7.12.2017 [cit. 2018-07-12]. Dostupné z: <https://medium.com/photography-secrets/the-light-l16-brilliant-and-braindead-855001277991>
29. LYON, Richard F. Prism-Based Color Separation for Professional Digital Photography. In: PICS 2000: Image Processing, Image Quality, Image Capture, Systems Conference. Portland, Oregon, USA: IS&T - The Society for Imaging Science and Technology 2000, 2001, s. 6. ISBN 0-89208-227-5. Dostupné také z: <http://www.dicklyon.com/tech/Photography/PICS2000-Lyon.pdf>
30. Malá exkurze do praktického skenování [online]. 16.2.1999 [cit. 2018-07-13]. Dostupné z: <http://www.grafika.cz/rubriky/skenery/mala-exkurze-do-praktickeho-skenovani-126317cz>
31. MCLAUGHLIN, Mark. Keepers of the Frame: A Documentary on Film Preservation & Restoration. USA: Winstar, 2000. ASIN: 1572528095. Dostupné také z: <https://www.amazon.com/Keepers-Frame-VHS-Forrest-Ackerman/dp/1572528095>
32. MESSIER, Paul. Preserving Your Collection of Film-Based Photographic Negatives [online]. ROCKY MOUNTAIN CONSERVATION CENTER. 13.8.1997 [cit. 2018-07-12]. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20070610164528/http://www.bodley.ox.ac.uk/dept/preservation/information/photographic/messier/messier.htm>
33. ORR, Steve. Did you know? Kodak Park had a nuclear reactor. Democrat & Chronicle [online]. 18.8.2016 [cit. 2018-07-12]. Dostupné z: <https://eu.democratandchronicle.com/story/local/2016/08/18/did-you-know-kodak-park-had-nuclear-reactor/88944080/>
34. PELIKÁN, Josef. Stínovací algoritmy. 2015. 1996, 15 s. Dostupné z: <http://cgg.mff.cuni.cz/~pepca/lectures/pdf/pg2-04-shading.pdf>

35. PROTOPOPOV, Denis. What Is Color Banding and How to Fix It [online]. PHOTOGRAPHY LIFE. 11.2.2018 [cit. 2018-07-13]. Dostupné z: <https://photographylife.com/what-is-color-banding-and-how-to-fix-it>
36. REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. Digitalizace analogového signálu [online]. 2006 [cit. 2018-07-13]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/1355-digitalizace-analogoveho-signalu>
37. REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. Artefakty obrazu [online]. 2006 [cit. 2018-07-13]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/1532-artefakty-obrazu>
38. REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. Fotoelektrický jev [online]. 2006 [cit. 2018-07-13]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/722-fotoelektricky-jev>
39. REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. Fotonásobič [online]. 2006 [cit. 2018-07-13]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/747-fotonasobic>
40. SILVA, Robert. How Video Resolution Works: Where the eye meets the screen... Lifewire [online]. 9.4.2018 [cit. 2018-07-13]. Dostupné z: <https://www.lifewire.com/video-resolution-information-1845780>
41. Special problems for video tapes [online]. ScanCafe [cit. 2018-07-13]. Dostupné z: <https://www.scancafe.com/image-preservation/videotape-decay>
42. SONY, PANASONIC. White Paper: Archival Disc Technology [online]. 2015, 18 s. [cit. 2018-07-13]. Dostupné z: https://assets.pro.sony.eu/Web/commons/solutions/pdfs/E_White_Paper_Archival_Disc_Technology_Ver100.pdf
43. SOUČEK, Jiří. Foveon X3 Quattro aneb jak s 5MPix snímačem vyfotit 20 megapixelů. Deep in IT [online]. CDR Server, 12.2.2014 [cit. 2018-07-13]. ISSN 1213-2225. Dostupné z: <https://diit.cz/clanek/foveon-x3-quattro-rozliseni>
44. TANG, Thiow Keng, Marta MRAK, Vittorio BARONCINI a Naeem RAMZAN. Report on HEVC compression performance verification testing. In: Oint Collaborative Team on Video Coding (JCT-VC) of ITU-T SG 16 WP 3 and ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 11. 18.5.2014. Valencia, ES, 2014, s. 17.

45. VAŠEK, Václav. Dokončení testu čtyř CD/DVD médií pod UV lampou. CDR Server [online]. CDR server, 20.8.2013, , 7 [cit. 2018-07-13]. ISSN 1213-2225. Dostupné z: <https://cdr.cz/clanek/cd-dvd-pod-uv-lampou-po-15-tydnech/data-tresor-disc>
46. VAŠEK, Václav. Uživatelský test: 8TB Seagate Archive na „domácí zálohování internetu“. CDR server [online]. CDR server, 2.6.2016, , 5 [cit. 2018-07-13]. ISSN 1213-2225. Dostupné z: <https://diit.cz/clanek/recenze-8tb-seagate-archive>
47. VINCENT, James. Google has open-sourced an AI tool that helps phones shoot pictures in portrait mode. The Verge [online]. 14.3.2018 [cit. 2018-07-12]. Dostupné z: <https://www.theverge.com/2018/3/14/17120996/google-pixel-phone-portrait-mode-ai-image-segmentation-open-source>
48. WAGNER, Patrick. Device classes at film scanners. ScanDig [online]. [cit. 2018-07-13]. Dostupné z: <http://www.filmscanner.info/en/FilmscannerKlassen.html>
49. ZHANG, Richard, Phillip ISOLA a Alexei A. EFROS. Colorful Image Colorization [online]. USA, 2016, 29 s. [cit. 2018-07-12]. Dostupné z: <https://arxiv.org/pdf/1603.08511.pdf>. University of California, Berkeley.
50. ZHENG, J., O. SLATTERY, F. BYERS, et al. NIST/Library of Congress (LC) Optical Disc Longevity Study [online]. The Library of Congress a National Institute of Standards and Technology. září 2007 [cit. 2018-07-13]. Dostupné z: https://www.loc.gov/preservation/resources/rt/NIST_LC_OpticalDiscLongevity.pdf

Seznam obrázků

Obrázek 1: Statistika nahraných fotografií na web Flickr za rok 2017. Zdroj: https://blog.flickr.net/en/2017/12/07/top-devices-of-2017/	8
Obrázek 2: Projekce částečně degradovaného 70mm materiálu (Krnov 2011)	14
Obrázek 3: Projekce zcela degradovaného materiálu Kodak (Krnov 2011)	15
Obrázek 4: Moaré vlevo na fotografii s nedostatečným vzorkováním (rozlišením). Zdroj: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Shirt_with_moir%C3%A9_caused_by_aliasing.jpg (licence public domain)	20
Obrázek 5: Uspořádání barevných filtrů v Bayerově masce. Zdroj: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Bayer_pattern_on_sensor.svg (licence GFDL/GPL)	23
Obrázek 6: Rozklad světla optickými hranoly na tři, resp. pět složek. Zdroj: https://web.archive.org/web/20070607142209/http://www.altevision.com/color_prisms_tech_data.htm (dostupné z archivu)	23
Obrázek 7: Znázornění posuvu snímáče v podání bezzrcadlovek společnosti Olympus. Zdroj: https://www.dpreview.com/reviews/olympus-om-d-e-m5-ii/4	25
Obrázek 8: Princip snímáče Foveon X3 Quattro společnosti Sigma Zdroj: https://diit.cz/clanek/foveon-x3-quattro-rozliseni	25
Obrázek 9: Schéma vzájemného propojení analogových video konektorů. Zdroj: http://pinouts.ru/VideoCables/scart_adapter_pinout.shtml	29
Obrázek 10: Používané TV normy v jednotlivých zemích světa. Zdroj: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:PAL-NTSC-SECAM.svg (licence public domain).....	30
Obrázek 11: Princip fungování skeneru pro reflexní předlohy. Zdroj: https://en.wikipedia.org/wiki/File:CPT_Hardware-Input-scanner-flatbed.svg (Free Art License)	35
Obrázek 12: Princip bubnového skeneru. Zdroj: https://www.icg.ltd.uk/whydrum/whydrum.htm	37
Obrázek 13: D-SLR Nikon Df s objektivem Micro-NIKKOR 55mm f/3.5 a nástavcem Nikon ES-2. Zdroj: http://www.throughthefmount.com/articles_rev_es-2.html	40

Obrázek 14: Skener Plustek OpticBook 3800 se ztenčenou hranou. Zdroj: http://plustek.com/oeu/products/flatbed-scanners/opticbook-3800/	41
Obrázek 15: knižní skener Aibecy Adjustable HD. Zdroj: https://www.amazon.com/Aibecy-Adjustable-Document-Mega-pixel-Classroom/dp/B07428GRFT	42
Obrázek 16: TV tuner Creatix CTX946 se vstupy Cinch a S-Video, digitalizačním čipem Philips SAA7134HL a hardwarovým MPEG-2/AC-3 kóděrem Philips SAA6752HS pro SD rozlišení.	44
Obrázek 17: Srovnání kvality záznamu na TV kartách s čipem Conexant Bt878 (vlevo) a Philips SAA7134 (vpravo). Zdroj: https://diit.cz/clanek/vyhodili-jste-stare-vhs-velka-chyba	44
Obrázek 18: Kdenlive v prostředí operačního systému Lubuntu Linux.....	46
Obrázek 19: Srovnání efektivity formátu H.265 oproti H.264 pro jednotlivá rozlišení. Zdroj: http://phenix.it-sudparis.eu/jct/doc_end_user/current_document.php?id=9089	49
Obrázek 20: Přehled nejpoužívanějších rozlišení videa.	50
Obrázek 21: Přehled technologií NAND flash čipů a jejich obvyklé životnosti (počet P/E cyklů). Zdroj: https://www.micron.com/products/advanced-solutions/qlc-nand	53
Obrázek 22: Srovnání detailnosti skenu s 24Mpix full-frame D-SLR Sony A900 při 800% zvětšení. Zdroj: http://www.boeringa.demon.nl/menu_techinc_ektar100_resolution.htm .	58
Obrázek 23: ukázka histogramu v programu RawTherapee – zobrazen je celkový jasový histogram i jednotlivé RGB složky.	59
Obrázek 24: Nastavení profilu skenovaného materiálu v programu VueScan.....	60
Obrázek 25: Vícenásobný sken filmového pásu ve VueScan.	61
Obrázek 26: Sken svitkového filmu v programu VueScan	62
Obrázek 27: Úprava kontrastu fotografie v RawTherapee.....	63
Obrázek 28: Náhled skenovaného políčka filmu Ilford Pan F Plus 50	63
Obrázek 29: Sken filmu Pan F Plus 50 ve VueScan s úpravou hodnoty Bod bílé (histogram).	64
Obrázek 30: Následná úprava skenu v RawTherapee.	65
Obrázek 31: Možnosti úprav skenu v programu Epson Scan.....	66
Obrázek 32: Vlevo originální sken, uprostřed ruční úprava v RawTherapee , vpravo automatické vyvážení bílé v GIMPu.	67

Obrázek 33: Neznámý materiál, Poděbrady 1951 (vlevo originální fotografie, vpravo upravená kolorizovaná verze).....	68
Obrázek 34: Poděbrady 1952, neznámý typ materiálu (vlevo originál, vpravo úprava po skenu)	69
Obrázek 36: nastavení nástroje Maskování rozostření v programu GIMP	70
Obrázek 35:Srovnání části snímku před a po úpravách, zejména použití nástroje Léčení. 70	
Obrázek 37: Vídeň 1969, Kodak Instamatic (vlevo originální fotografie, vpravo sken po úpravách v GIMP a RawTherapee)	71
Obrázek 38: Porovnání zdrojové fotografie a upraveného tisku	72
Obrázek 39: Porovnání automatického nastavení v Epson Scan (nahore) a ručního skenu s následnými ručními úpravami v RawTherapee (dole).	73
Obrázek 40: Ukázka zpracování skenu v RawTherapee	73